

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Akumulace elektrické energie získané z obnovitelných zdrojů
Storage of Electrical Energy gained from Renewable Energy
Sources

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michael Stach**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Akumulace elektrické energie získané z obnovitelných zdrojů
Storage of Electrical Energy gained from Renewable Energy Sources

Zásady pro vypracování:

1. Obnovitelné zdroje s obtížně predikovatelnou výrobou elektrické energie
2. Problematika provozu těchto zdrojů v rámci elektrizační soustavy ČR
3. Možnosti a potenciál akumulace elektřiny těmito zdroji vyráběné
4. Zapojení obnovitelných zdrojů s akumulací energie do „Smart Grids“

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Bartoš, V.: Obnovitelné zdroje energií, Grada Publishing, Praha, 2010.
2. Cenek, M.: Akumulátory od principu k praxi, FCC Public.
3. Barin, A. and col.: Multiple Criteria Analysis for Energy Storage Selection, Journal of Energy and Power Engineering, 2011.
4. Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M.: Fotovoltaika - elektřina ze slunce, Vydavatelství ERA, 2007.
5. Vaculík, J.: Akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů, Diplomová práce, Ostrava, 2012.
6. Nieslaník, T.: Analýza kvality napětí z obnovitelných zdrojů, Bakalářská práce, Ostrava, 2010.
7. Bilíček, P.: Problematika větrných a fotovoltaických zdrojů v distribučních sítích, Diplomová práce, Ostrava, 2011.
8. Krupa, P.: Vyhodnocení vlivu větrných elektráren na elektrizační soustavu, Diplomová práce, Ostrava, 2006.
9. Beránek, P.: Připojení větrné elektrárny do sítě vn, Diplomová práce, Ostrava, 2005.
10. Kalwar, J.: Problematika "Smart grid", Bakalářská práce, Ostrava, 2011.
11. ESA <<http://www.electricitystorage.org/site/technologies/>>
12. Problematika připojování větrných elektráren do distribuční sítě <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4279&h=206&pl=49>>
13. PROATOM <<http://proatom.luksoft.cz/view.php?cislocianku=2008050001>>
14. Akumulace elektřiny <<http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>>
15. Akumulace elektrické energie <<http://www.4-construction.com/cz/clanek/akumulace-elektricke-energie/>>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

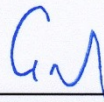
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7.5.2013

Podpis Michael Šlach

Poděkování:

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za velmi dobré vedení, odbornou pomoc, připomínky a podmětné rady při zpracovávání bakalářské práce.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá zdroji s obtížně plánovatelnou výrobou elektrické energie, problematikou připojení těchto zdrojů na elektrizační soustavy ČR a možnostmi akumulace takto vyrobené elektřiny. Informuje o možnostech akumulace novými technologiemi, které jsou už ve světě zařazeny do provozu. Dále se zabývá integrací tzv. obnovitelných zdrojů energie do elektrizační soustavy pomocí technologií Smart Grid a také problémy, které tím nastávají.

Abstract:

This bachelor thesis deals with sources, for which is difficult in planning electricity production, the problems of connection these sources to the electricity system of Czech Republic and the possibilities of accumulation thus produced electricity. Informs about the possibilities of accumulation of new technologies that are in the world already included in the operation. It also deals with the integration of renewable energy into the power system by using Smart Grid technologies and also problems that arise.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje energie, větrná energie, solární energie, akumulace, Smart Grid síť.

Key – words:

Renewable energy, wind energy, solar energy, accumulation, Smart Grid network.

Seznam použitých zkratk a symbolů

AA-CAES (Adiabatic Advanced - Compressed Air Energy System) - Adiabatický pokročilý – systém stlačování vzduchu
CAES (Compressed air energy system) – Uchovávání energie ve stlačeném vzduchu
ČEZ – České energetické závody
ČR – Česká republika
DS – Distribuční soustava
EEGI – European electricity grid initiative
ERDF – Électricité réseau distribution France
ES – Elektrizační soustava
EU – Evropská unie
FVE – Fotovoltaická elektrárna
HDO – hromadné dálkové ovládání
Li-Ion – Lithium iontový
Li-Pol – Lithium polymerový
NaS – Baterie sodium-sulfur
NiMH – Nikl metalhydrid
NiZn – Nikl-zinkové baterie
nn – Nízké napětí
OZE - Obnovitelné zdroje energie
Pb – Olovo
PDS – Provozovatel distribuční soustavy
Predikovatelný – plánovaný, předvídaný
PS – Přenosová soustava
PVE – Přecherčpávací vodní elektrárna
REDOX – Oxidačně redukční reakce
SET Plan – Strategic energy technology plan
Smart Grids – inteligentní síť
Smart Meters – inteligentní elektroměry
SMES - Supravodivý magnetický systém akumulace energie
THD – *Total harmonic distortion* – Celkové harmonické zkreslení
UPS - *Uninterruptible power supply* – Nepřerušitelný zdroj energie (jištění pro zařízení, která nesmí být neočekávaně vypnuta)
UTSIRA - *UTility System In Remote Areas* – (Užitkové systémy v odlehlých oblastech)
vn - Vysoké napětí
VRB-ESS (Vanadium redox battery– energy storage system) - Vanadiové redoxové baterie – systém uchovávání energie
VtE - Větrná elektrárna
vvn - Velmi vysoké napětí

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 1 |
| 1 Obnovitelné zdroje s obtížně predikovatelnou výrobou elektrické energie | 2 |
| 1.1 Větrná energie | 2 |
| 1.1.1 Princip větrné elektrárny | 2 |
| 1.1.2 Rozdělení větrných elektráren..... | 3 |
| 1.1.3 Větrné elektrárny v ČR | 5 |
| 1.2 Solární energie | 7 |
| 1.2.1 Solární termické elektrárny | 7 |
| 1.2.2 Fotovoltaické elektrárny..... | 9 |
| 1.2.3 Fotovoltaické elektrárny v ČR | 10 |
| 2 Problematika provozu VtE a FVE v rámci elektrizační soustavy ČR..... | 11 |
| 2.1 Vliv větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy | 11 |
| 2.1.1 Spolehlivost dodávky elektrické energie z větrných elektráren..... | 13 |
| 2.1.2 Vhodné lokality pro větrné elektrárny v ČR | 14 |
| 2.2 Vliv fotovoltaických elektráren na provoz elektrizační soustavy | 16 |
| 2.2.1 Spolehlivost dodávky elektrické energie z fotovoltaických elektráren..... | 17 |
| 2.2.2 Rizika při nesprávně navržené regulaci jalového výkonu..... | 18 |
| 3 Možnosti a potenciál akumulace vyráběné elektřiny z VtE a FVE..... | 19 |
| 3.1 Akumulační systémy vhodné pro energetiku | 19 |
| 3.2 Akumulace pro fotovoltaické elektrárny..... | 20 |
| 3.2.1 Průtokové baterie | 20 |
| 3.2.2 Supravodivý magnetický systém akumulace energie (SMES)..... | 23 |
| 3.2.3 Olověné baterie | 23 |
| 3.3 Akumulace pro větrné elektrárny..... | 24 |
| 3.3.1 Akumulace energie prostřednictvím stlačeného vzduchu | 24 |
| 3.3.2 Chemická akumulace - vodík..... | 25 |
| 3.3.2.1 Výroba vodíku..... | 25 |
| 3.3.2.2 Skladování vodík..... | 26 |
| 3.3.2.3 Energetické využití vodíku | 26 |
| 3.3.2.4 Pilotní projekt Utsira | 27 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.3 | přečerpávací elektrárny | 28 |
| 4 | Zapojení obnovitelných zdrojů a akumulací energie do „Smart Grids“ | 30 |
| 4.1 | Smart Grid – inteligentní elektrické sítě | 30 |
| 4.2 | Porovnání Smart Grid s klasickou distribuční sítí..... | 30 |
| 4.2.1 | Klasická distribuční síť | 30 |
| 4.2.2 | Smart Grid sítě | 31 |
| 4.3 | Výhody a nevýhody sítě Smart Grids | 32 |
| 4.4 | Možnosti využití akumulačních technologií v ČR..... | 33 |
| 4.5 | Smart Grids ve světě | 33 |
| 4.5.1 | Rozvoj Smart Grids v Evropské unii..... | 33 |
| 4.5.2 | Pilotní projekt Smart Grid v České republice - Vrchlabí | 34 |
| 4.5.3 | Pilotní projekty v zahraničí | 35 |
| | Závěr | 37 |
| | Seznam obrázků | 38 |
| | Seznam tabulek | 38 |
| | Seznam použité literatury..... | 39 |

Úvod

Stále rostoucí spotřeba elektrické energie nutí lidstvo nalézat nové zdroje a technologie pro uspokojení poptávky. Největším problémem jsou ekologické důsledky nynější struktury výroby. Působením lidské činnosti na naši zeměkouli vzrůstá uvolňování znečištění a tepla do atmosféry, důsledkem toho hrozí v budoucnu další globální oteplování a nárůst projevů skleníkového efektu. Do budoucna musíme počítat, že časem dojdou některé zdroje fosilních paliv, která právě dnes tvoří velký podíl ve výrobě elektrické energie.

Možným řešením těchto problémů jsou právě obnovitelné zdroje energie (OZE), ale některé jsou velmi nestabilní (energie větru a slunečního záření) pro připojení přímo na elektrizační soustavu (ES). Řešením problémů s připojením OZE do ES jsou akumulační systémy, které budou integrovány do tzv. Smart Grid (chytré sítě). Tato chytrá síť je schopna eliminovat problémy spojené s nestabilními zdroji elektrické energie.

1 Obnovitelné zdroje s obtížně predikovatelnou výrobou elektrické energie

1.1 Větrná energie

Vítr je nahodilý neovladatelný přírodní děj vznikající zemskou rotací, která způsobuje stáčení větrných proudů. Tento jev se využívá pro větrné elektrárny (VtE) pro výrobu elektrické energie. Působením nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu se míchá teplejší vzduch, který stoupá nahoru a studený vzduch, který klesá dolů k povrchu země. Charakteristickou vlastností větru jako zdroje energie je jeho nestálost, která je způsobena jeho velkou proměnlivostí rychlosti.

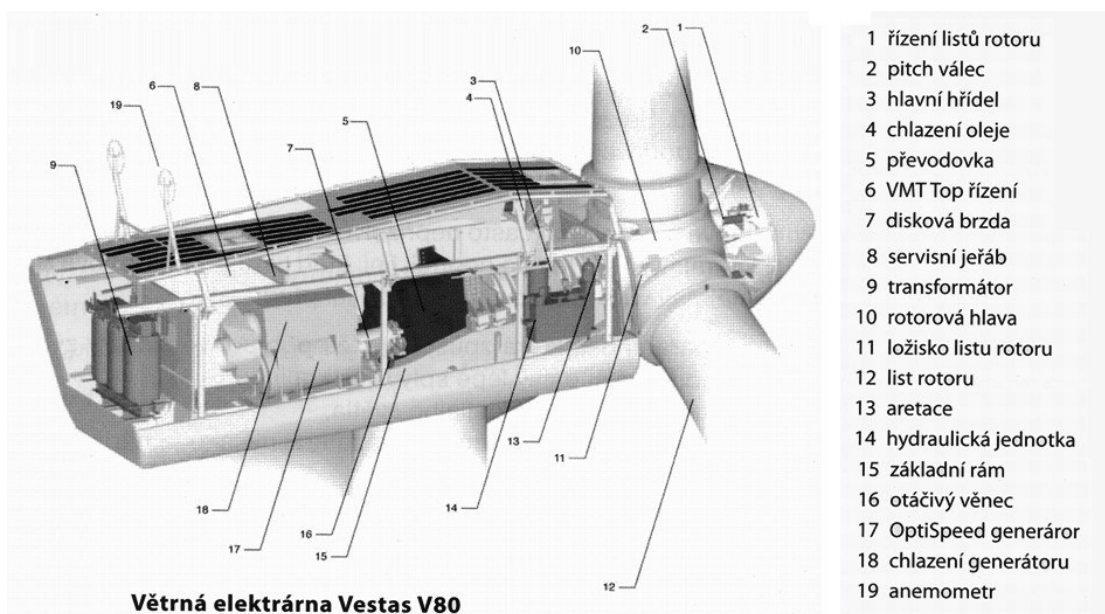
1.1.1 Princip větrné elektrárny

Působením aerodynamických sil na listy rotoru převádí větrná turbína umístěná na stožáru energii větru na rotační energii mechanickou. Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie. Podél rotorových listů vznikají aerodynamické síly, listy proto musejí mít speciálně tvarovaný profil, velmi podobný profilu křidel letadla. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Je proto třeba zajistit efektivní a rychle pracující regulaci výkonu rotoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení VtE.

V současné době jsou nejrozšířenější elektrárny s horizontální osou otáčení pracující na vztahovém principu. Moderní elektrárny mají většinou tři lopatky, užívají se i typy s jedním nebo dvěma listy. Nejvhodnější místa pro výstavbu VtE jsou plochy v nadmořských výškách zpravidla nad 600 m, technologický rozvoj však již umožňuje vyrábět elektřinu z větru efektivně i v mimo horských oblastech. Větrné elektrárny jsou konstruovány tak, aby bylo možné při rychlostech větru kolem $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($54 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) docílit maximálního energetického výnosu. Při rychlostech větru kolem $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nejsou VtE schopny vyrábět elektrickou energii a při rychlostech kolem $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ jsou VtE odpojovány ze sítě. [\[1\]](#)

Větrná elektrárna má tyto základní části:

rotor, generátor, převodovka, systém natáčení strojovny, stožár a rám strojovny a regulační systém.(viz Obr. 1)



Obr. 1: Popis větrné elektrárny [22]

1.1.2 Rozdělení větrných elektráren

Podle výkonu

- malé do 20 kW
- střední nad 20 do 50 kW
- velké nad 50 kW

Podle koncepce

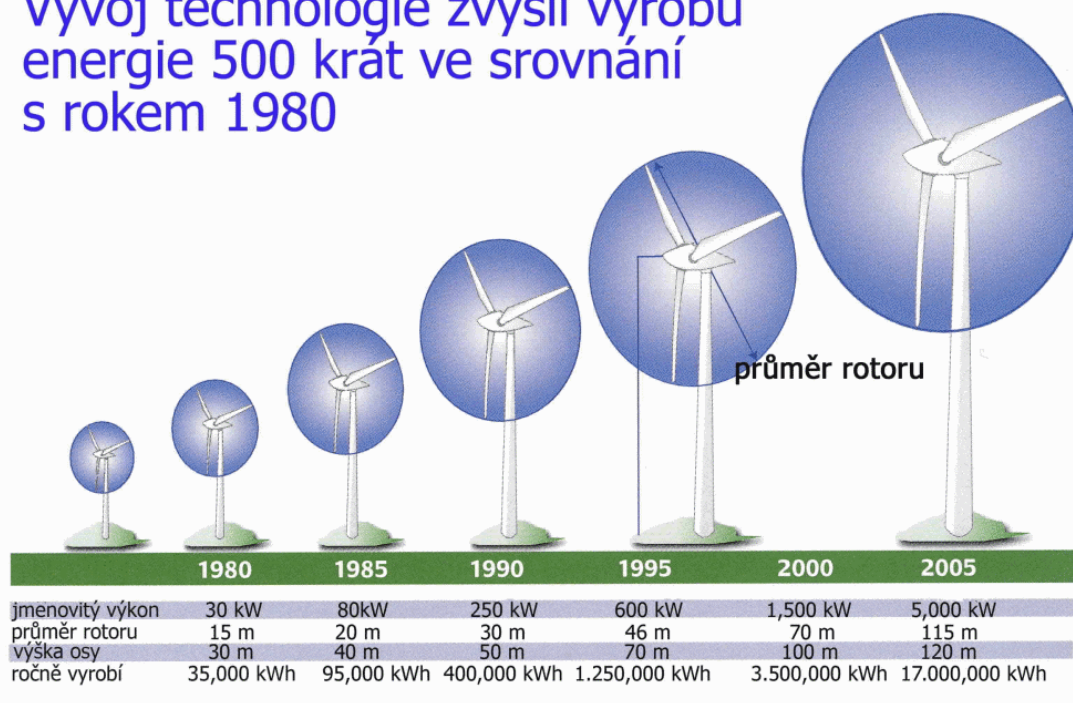
- zařízení s vertikální osou rotace
- zařízení s horizontální osou rotace

Podle řešení

- větrné elektrárny s vrtulí
- větrné elektrárny s lopatkovými koly [4]

Elektrárny o výkonech mezi 5 a 20 kW lze použít ke dvojím účelům. První je dodávka do sítě a druhý je využití energie pro ohřev užitkové vody. Elektrárny s výkonem nad 20 kW se výhradně používají pro dodávky energie do veřejné sítě. V 80. letech minulého století se typický výkon VtE pohyboval kolem 100 kW s průměrem rotorů méně než 20 metrů. V roce 2005 výrobci vyvinuli prototypy s výkonem kolem 5 MW a s průměrem rotorů více než 110 metrů (viz Obr. 2). Dnes už se tato zařízení dostala do sériové výroby. Růst velikosti VtE dospěl na své hranice, jelikož s velikostí neúměrně rostou ceny materiálu zařízení.

Vývoj technologie zvýšil výrobu energie 500 krát ve srovnání s rokem 1980



Obr. 2: Výkony větrných elektráren [23]

Podle koncepce lze větrné elektrárny rozdělit na zařízení s vertikální a horizontální osou rotace. VtE s horizontální osou rotace jsou v současné době nejrozšířenější. Podle řešení je lze dále dělit na VtE s vrtulí a lopatkovými koly.

Vertikální osa otáčení

Darrieův rotor se skládá z dvou a více křídel rotující kolem vertikální osy. Křídla přitom vytváří v průběhu rotace válcovou, kuželovou nebo parabolickou plochu, což nic nemění na principu činnosti. Jejich hlavní výhody jsou, jednoduchá konstrukce, vysoká účinnost a možnost umístit generátor do spodní části stožáru. Mezi nevýhody patří špatná schopnost rozběhu, proto je nutné je vybavit systémem nuceného rozběhu.

Horizontální osa otáčení

Vrtule je větrný motor s nejvyšší dosažitelnou celkovou účinností 40 až 45 %. Je to rychloběžný typ větrného motoru. Počet listů rychloběžné vrtule bývá 1 až 4 s tím, že nejrozšířenější jsou zařízení se dvěma a třemi listy. Mezi jejich výhody patří nižší cena v porovnání s mnohalopatkovým rotorem, ale nevýhoda je, že počáteční točivý moment vyvozovaný vrtulí je malý, a proto se musí vybavit nuceným elektrickým rozběhem. Lopatkové kolo je pomaloběžný větrný motor. Obvyklý počet lopatek se pohybuje mezi 12 a 24. Běžný průměr lopatkového kola

je 5 až 8 metrů. Tyto pomaloběžné lopatkové motory dosahují velice malou účinnost, a proto jsou pro výrobu elektrické energie nevýhodné, jejich nejčastější využití je u vodních pump.

Existují dva typy využití energie z větru. Princip odporový, který se používal u plachetnic a mlýnu. Pracuje na principu odporu větru do rovinné desky (lopatky), která klade větru odpor a tím se vyvíjí síla otáčení rotorem. Účinnost takového motoru je velice nízká a nedosahuje ani 20 %.

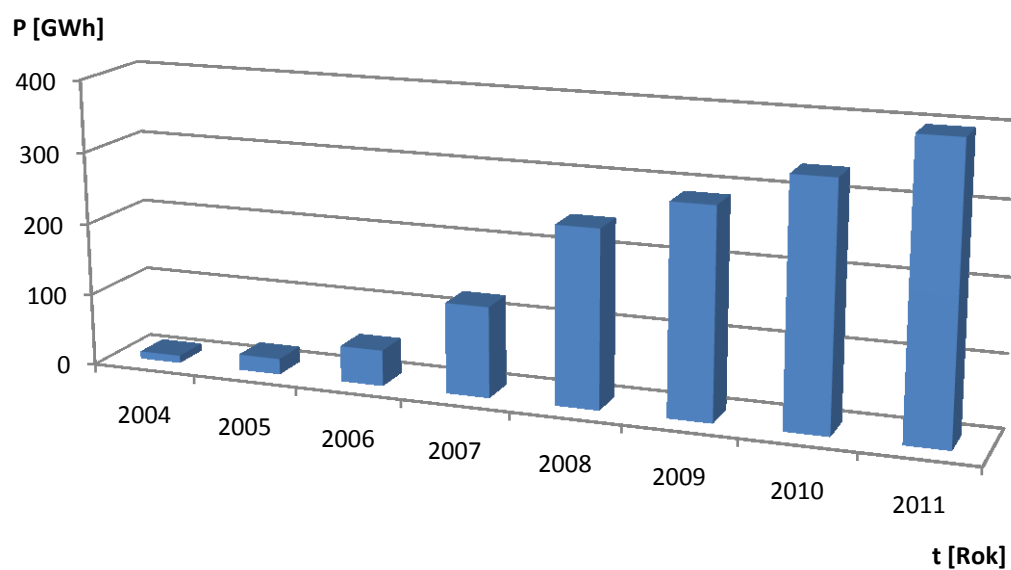
Ve třicátých letech byly vyrobeny větrné motory pracující na vztakovém principu. Vítr obtéká lopatku, která má profil podobný křídlu. Účinnost použití vztakového principu může převýšit až 50 %. Rychlost lopatek musí mnohonásobně převyšovat rychlost větru, aby mohla být naplno využita síla větru. Přitom platí pravidlo, čím méně lopatek, tím je vyšší koeficient rychloběžnosti (poměr obvodové rychlosti konce lopatek k rychlosti větru), tím rychleji se rotor otáčí. Proto na rozdíl od odporového principu mají větrné stanice pouze jedno, dvě nebo tři křídla. [5]

1.1.3 Větrné elektrárny v ČR

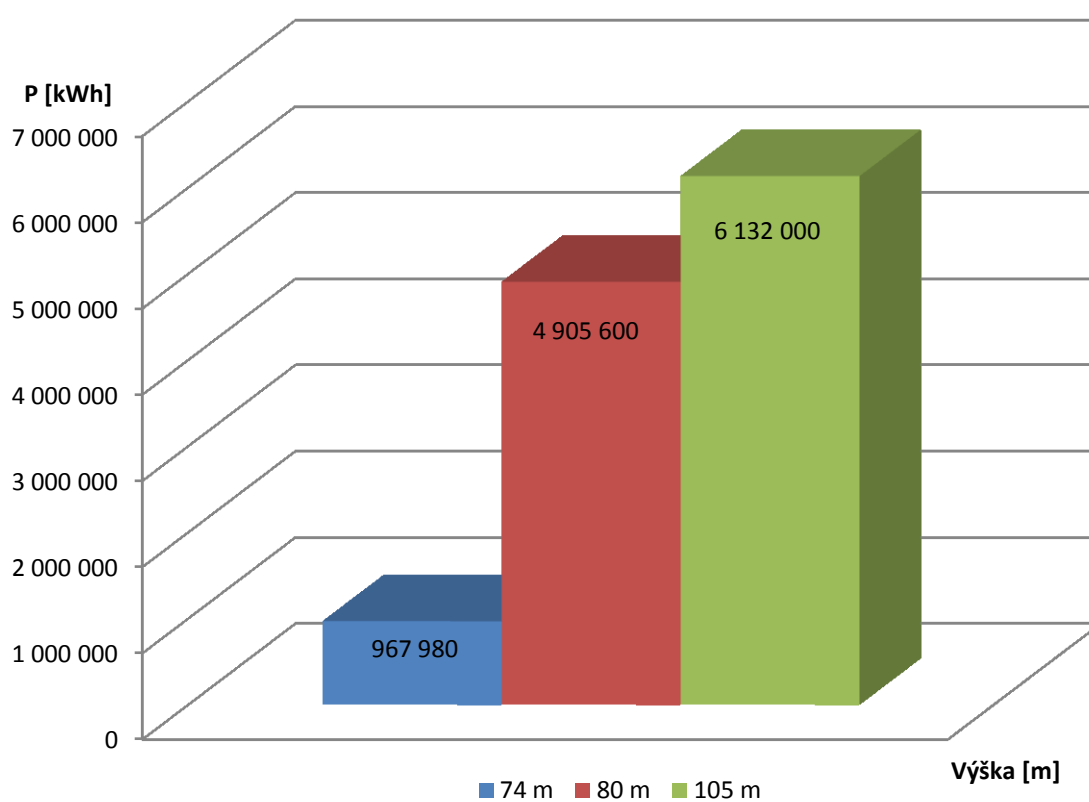
V České republice jsou vystavěny větrné elektrárny pracující na vztakovém principu s horizontálním rotorem a s návětrným typem větrného motoru. Životnost zařízení, instalovaných v současné době, se pohybuje kolem 20 let. Vývoj výstavby VtE v ČR je znázorněn na obrázku 3.

Roční výroba energie v ČR v závislosti na rozměrech VtE.

Na obrázku 4 lze vidět ročně vyrobenou energii v závislosti na rozměrech VtE. Levý sloupec představuje typ elektrárny Vestas V 52 s výkonem 850 kW průměrem rotoru 52 m a výškou stožáru 74 m, prostřední a pravý sloupec je typ Vestas V 90 s výkonem 2 MW průměrem rotoru 90 m a výškou stožáru 80 a 105 m. [6]



Obr. 3: Vývoj výroby z VtE [10]



Obr. 4: Roční výroba energie v závislosti na rozměrech VtE. [6]

1.2 Solární energie

Slunce je naše nejbližší hvězda a je vydatným zdrojem energie, vydává zhruba 20 000 x více energie než lidstvo potřebuje. Výhodou sluneční energie je, že ji můžeme poměrně snadno přeměnit na jinou formu energie (energie tepelná, elektrická, mechanická), nemusíme ji odnikud dovážet je bezpečná a nemá žádné negativní vlivy na životní prostředí (zápach, zplodiny, toxické odpady, prach).

Elektrinu můžeme získat ze sluneční energie nepřímou přeměnou pomocí solárních termických kolektorů, nebo přímou přeměnou za pomoci fotovoltaických panelů.

1.2.1 Solární termické elektrárny

Solární termické elektrárny produkují elektrickou energii přeměnou energie slunečního záření. Aby byl jejich provoz výhodný, musí se volit vhodné lokality pro jejich výstavbu. Solární termické elektrárny nejsou pro podmínky v ČR vhodné, energie se využívá pro ohřev vody, ale na výrobu elektrické energie je investice nevratná.

Parabolické žlabové elektrárny

Parabolické žlabové elektrárny soustřeďují velkými, žlabově tvarovanými parabolickými zrcadly sluneční světlo do jediné ohniskové linie. Kolektory jsou postaveny do několika mnohasetmetrových žlabů vedle sebe (viz Obr. 5). Jednotlivé kolektory se otáčejí za sluncem a jejich zrcadla koncentrují sluneční světlo více než osmdesátinásobně do ohniska. V ohnisku jsou vedeny trubice (se speciálním selektivním povlakem, který zabraňuje vyzařování tepla do okolí), v nichž proudí médium (voda, olej), které se slunečním zářením ohřívají na teplotu až 300 °C i více. Ohřáté médium se následně používá k výrobě páry a pomocí parogenerátoru se získává elektrická energie. [\[2,3\]](#)



Obr. 5: Parabolická žlabová elektrárna. [24]

Solární věžové elektrárny

Tato elektrárna je složena ze stovek i tisíců otočných zrcadel (heliostatů), které koncentrují sluneční světlo do jednoho místa na věži (viz Obr. 6). Každý s těchto heliostatů je počítačově individuálně řízen, aby se natáčel podle pohybu slunce po obloze. V ohnisku na věži se nachází přijímač s absorberem, který se ohřívá díky vysoce koncentrovaného slunečního svitu až na teploty nad 1000 °C. Jako pracovní médium se používá vzduch, tekutá sůl nebo olej. Ohřáté médium se odvádí do energetické jednotky, kde se ohřívá voda a vznikající pára pohání parogenerátor. Ochlazené pracovní médium se znovu odvádí zpět do solární věže a dále se ohřívá. [2,3]



Obr. 6: Solární věžová elektrárna. [25]

1.2.2 Fotovoltaické elektrárny

Elektřinu můžeme získat ze slunečního záření také přímou přeměnou, pomocí fotovoltaických článků.

Fotovoltaický jev (fotoefekt) je fyzikální jev, při kterém jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření. Při dopadu slunečního záření na rozhraní polovodičů typu N a P vzniká elektrický potenciál, který usměrňuje pohyb volných elektronů. Oba polovodiče jsou opatřeny kontakty a fotovoltaický článek funguje jako zdroj proudu. Výkon jednoho článku je poměrně malý, a proto se články skládají do fotovoltaických solárních panelů. Udávaný výkon je 120 W na 1 m².

Existují různé typy (generace) fotovoltaických článků, které se od sebe liší typem konstrukce a využití různých materiálů.

První generace

Jsou fotovoltaické články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, kde je vytvořen velkoplošný p-n přechod. Tento typ je v současné době nejvyužívanější, hlavně na velké instalace. Vyznačuje se dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu. Nevýhodou je velká spotřeba čistého křemíku, který je náročný na výrobu, a proto také cenově drahý.

Druhá generace

Je charakteristická snahou snížit množství křemíku a zlevnit tím náklady. Využívá tenkovrstvé články z polykrystalického, mikrokystalického nebo amorfního křemíku. Nevýhodou je znatelně nižší účinnost a menší stabilita, která ještě časem klesá. V poslední době se nahrazuje křemík jinými materiály a využívají se v takových aplikacích kde je požadována pružnost a ohebnost. Například fotovoltaické fólie nebo fotovoltaické články, které jsou součástí oblečení a batohů (umožňují nabíjet přenosná zařízení).

Třetí generace

Jsou to kompozitní, z jednotlivých vrstev složené fotovoltaické články, schopné efektivně využívat jednotlivé spektra slunečního záření. Každá vrstva dokáže využít světlo v určitém rozsahu vlnových délek a to záření, které nemůže využít, propustí do hlubších vrstev, kde je dále využíváno. [\[7\]](#)

1.2.3 Fotovoltaické elektrárny v ČR

V České republice je výhodnost solární energie ovlivněna několika faktory, mezi které patří zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost, lokální podmínky a sklon plochy na níž sluneční záření dopadá. V ČR dopadne na 1 m² vodorovné plochy zhruba 950 – 1340 kWh energie. Roční množství slunečních hodin se pohybuje zhruba 1331 – 1844 hod, některé odborné literatury uvádí průměrné rozmezí 1600 – 2100 hodin.

Z praktického hlediska využití FV článků z monokrystalického nebo multikrystalického křemíku s běžnou účinností střídačů, lze z jedné instalované kilowaty za rok získat v průměru 800 – 1100 kWh elektrické energie.

Přínosem v oblasti fotovoltaiky v ČR je zákon číslo 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE a další změny některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů). Hlavním přínosem těchto zákonů by měla být stabilizace podnikatelského prostředí v oblasti OZE, zvýšení atraktivnosti těchto zdrojů pro investory a vytvoření podmínek pro rozvoj OZE v ČR. Rapidní nárůst FV v ČR je zřetelný v tabulce 1. [\[34\]](#)

| Rok | Výroba [MWh] |
|------|--------------|
| 2004 | 100 |
| 2005 | 68 |
| 2006 | 170 |
| 2007 | 1 754 |
| 2008 | 12 937 |
| 2009 | 88 807 |
| 2010 | 615 702 |
| 2011 | 2 182 018 |

Tab. 1: Vývoj výroby z FVE [\[10\]](#)

2 Problematika provozu VtE a FVE v rámci elektrizační soustavy ČR

2.1 Vliv větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy

Využití energie větru sebou přináší řadu problému, které souvisejí s jeho fyzikální podstatou. Špatná predikovatelnost síly a směru větru způsobí, že zařízení, určená k výrobě energie s větru, pracují s nevelkou částí roku. V našich podmínkách jen cca 10 – 20 %. Díky tomu, že nevyužíváme kapacity vybudovaných zařízení, dochází k ekonomickým ztrátám a k problémům s regulací v elektrizační soustavě. Ekonomické problémy, vlivem vysokých nákladů na výrobu jednotky elektřiny z důvodů malého využití kapacity instalovaných zařízení se v ČR řeší formou státní podpory na obnovitelné zdroje (provozovatelé distribučních soustav musí povinně vykupovat takto vyrobenou elektřinu za stanovenou minimální cenu). Technické problémy související s regulací soustavy, vlivem rychle kolísajícího výkonu větrných zdrojů, musí provozovatel přenosové soustavy řešit systémem točivých rezerv, popřípadě rychle startujících zdrojů (viz kapitola 3). Je tedy velmi obtížné zajistit konstantní dodávku elektrické energie do místa spotřeby a větrné elektrárny, v případě chybné regulace výkonu, mohou mít negativní vliv na elektrizační soustavu.

Vliv větrných elektráren na elektrizační soustavu můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- lokální
- systémové

Lokální vlivy větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy

Prioritou každého provozovatele distribuční soustavy je maximální eliminace nežádoucích vlivů při provozu větrných elektráren na distribuční soustavu. Tyto vlivy jsou dány způsobem připojení generátoru větrné elektrárny k distribuční soustavě, parametry přípojného bodu (zkratový výkon) a volba měřicího a řídicího zařízení. Příslušný provozovatel distribuční soustavy stanoví způsob připojení na základě síťových poměrů, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby. Každý zdroj, který je takto připojen do sítě ji ovlivňuje, proto tyto změny nesmí překročit dovolené meze. V případě větrných elektráren velkých výkonů nebo větrných parků jsou lokální vlivy těchto výroben na elektrizační soustavu značné.

Mezi základní lokální vlivy patří

- Přetěžování sítě
- Kolísání napětí
- Zvýšení zkratových poměrů
- Kvalita dodávky elektrické energie (součástí větrných elektráren je výkonová elektronika, která může být rušivým zdrojem v síti, jako například flicker, vyšší harmonické nebo útlum signálu HDO)

Systémové vlivy větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy

Tyto vlivy se v elektrizační soustavě projevují při větším výskytu větrných elektráren v síti. Může docházet ke snížení přenosové schopnosti vedení na mezinárodních profilech. V současné době se v elektrizační soustavě České republiky projevuje snížená přenosová schopnost vlivem větrných elektráren instalovaných v severních oblastech Německé spolkové republiky.

Mezi systémové vlivy patří

- Začlenění větrných elektráren do pokrývání diagramu zatížení (dodávka z větrných elektráren je nestabilní a závislá na povětrnostních podmínkách)
- Chování větrných elektráren při blízkých zkratech v přenosové soustavě a při velkých poruchách (nebezpečí plošných výpadků)
- Dopad na stabilitu elektrizační soustavy (zejména větrné parky mají výrazný dopad na stabilitu chodu sítě a to v případě nárazových větrů a poruch). [\[8\]](#)

Flicker

Kolísání napětí, které způsobuje změny světelného toku u zdrojů světla (blikání). VtE jsou jedním ze zdrojů flickeru a proto se musí provádět posouzení, jestli nejsou překročeny povolené limity. Dlouhodobá míra flickeru nesmí přesáhnout hodnotu 0,46.

Proudy vyšších harmonických

Tyto proudy vznikají zejména u zařízení, které obsahují střídače nebo měniče kmitočtu. V podmínkách pro připojení do sítě jsou uvedeny maximální vysílané hodnoty. Výrobci u zařízení udávají hodnotu celkového činitele zkreslení vyšších harmonických (THD), kdy tato hodnota nepřekračuje 5 %, aby nedocházelo k nepříznivému ovlivňování dalších zařízení připojených do distribuční sítě.

Útlum signálu HDO (hromadné dálkové ovládání)

Je to řídicí signál, přenášený v distribučních sítích a je schopen ovládat zapínání od odpojování elektrických spotřebičů a jiných elektrických zařízení včetně přepínání tarifů. Pro správnou funkci zařízení pracujících se signálem HDO, nesmí úroveň signálu klesnout více jak o 10 až 20 %. Pokud jsou limity útlumu signálu HDO překročeny, je potřeba provést opatření k odstranění toho nepříznivého ovlivnění a to použitím podpůrné impedance. Pro zkvalitnění šíření signálu se používá podpůrná impedance, která upravuje impedanční poměry ve vybraných částech sítě. [\[12\]](#)

2.1.1 Spolehlivost dodávky elektrické energie z větrných elektráren

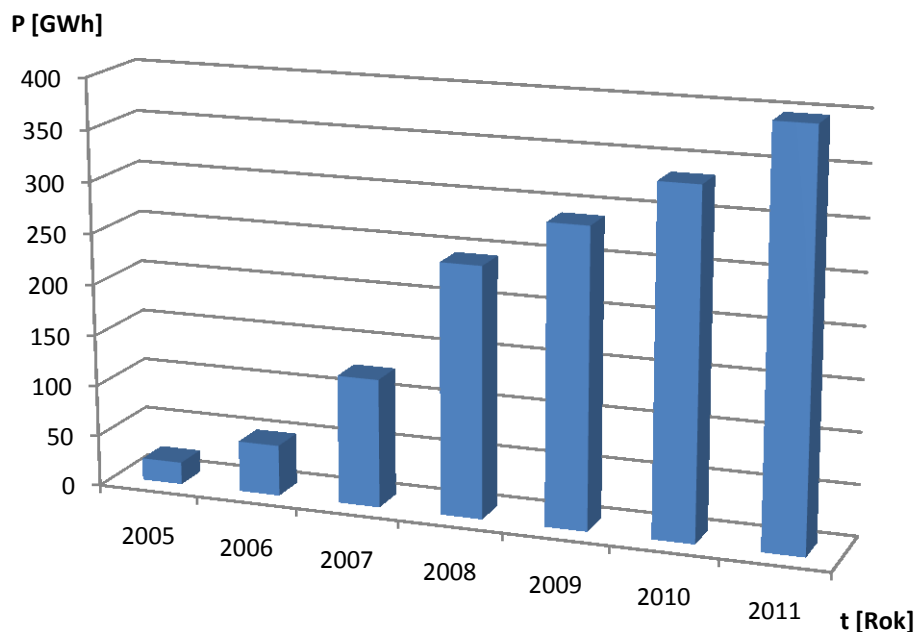
Kvalita elektrické energie není dána pouze kvalitou napětí, ale také spolehlivostí dodávky elektrické energie do distribučních sítí. Proto je důležitým kritériem plánování výroby a spotřeby elektrické energie.

Denní diagram výroby větrných elektráren se od fotovoltaického liší, protože vítr fouká ve dne i v noci. Další odlišností větrných elektráren od fotovoltaických je pomalejší kolísání výkonu, rozdíl výroby o více než 50 % je otázkou hodiny a více.

Nynější instalovaný výkon větrných elektráren v České republice je přibližně 260 MW, liší se oproti fotovoltaice větší koncentrací v určitých oblastech a ve větším jednotkovém výkonu (větrné farmy). Problémem těchto zdrojů je, že příznivé podmínky pro využití větru bývají v místech, kde je málo rozvinutá síťová infrastruktura, neboť je zde málo průmyslu a řídké osídlení (viz kapitola 2.1.2). Je potřeba vystavět nová vedení (většinou 22 kV) v délkách desítek kilometrů do vhodné rozvodny. Díky těmto zdrojům jsou vedení 110 kV v některých oblastech na hranici své kapacity a transformační výkon do přenosové soustavy je místy také vyčerpán, stejně i zkratová odolnost rozveden. Instalovaný výkon těchto zdrojů v současné době není příliš vysoký (viz Tab. 2), nevyskytují se zatím problémy se zálohováním a větrné farmy jsou rozptýlené, nedochází tedy k nárazovému zatěžování přenosové soustavy v určitém směru, jak je tomu v sousední Německé spolkové republice. Vývoj výroby z VtE v jednotlivých letech je znázorněn na obrázku 7. [\[8\]](#)

| Souhrn instalací VtE v MW | | | Výroba z VtE z celé ČR v GWh |
|---------------------------|--------|-----------------------|---------------------------------|
| Rok | Souhrn | Roční čistý přírůstek | Výroba |
| 2005 | 28 | - | 21,3 |
| 2006 | 54 | 26 | 49,4 |
| 2007 | 116 | 62 | 125,1 |
| 2008 | 148 | 32 | 243,9 |
| 2009 | 192 | 44 | 289,9 |
| 2010 | 215 | 23 | 335,6 |
| 2011 | 217 | 2 | 397,1 |
| 2012 | 260 | 43 | - |

Tab. 2: Instalovaný výkon a výroba VtE v ČR [\[26\]](#)



Obr. 7: Výroba z VtE v jednotlivých letech [\[26\]](#)

2.1.2 Vhodné lokality pro větrné elektrárny v ČR

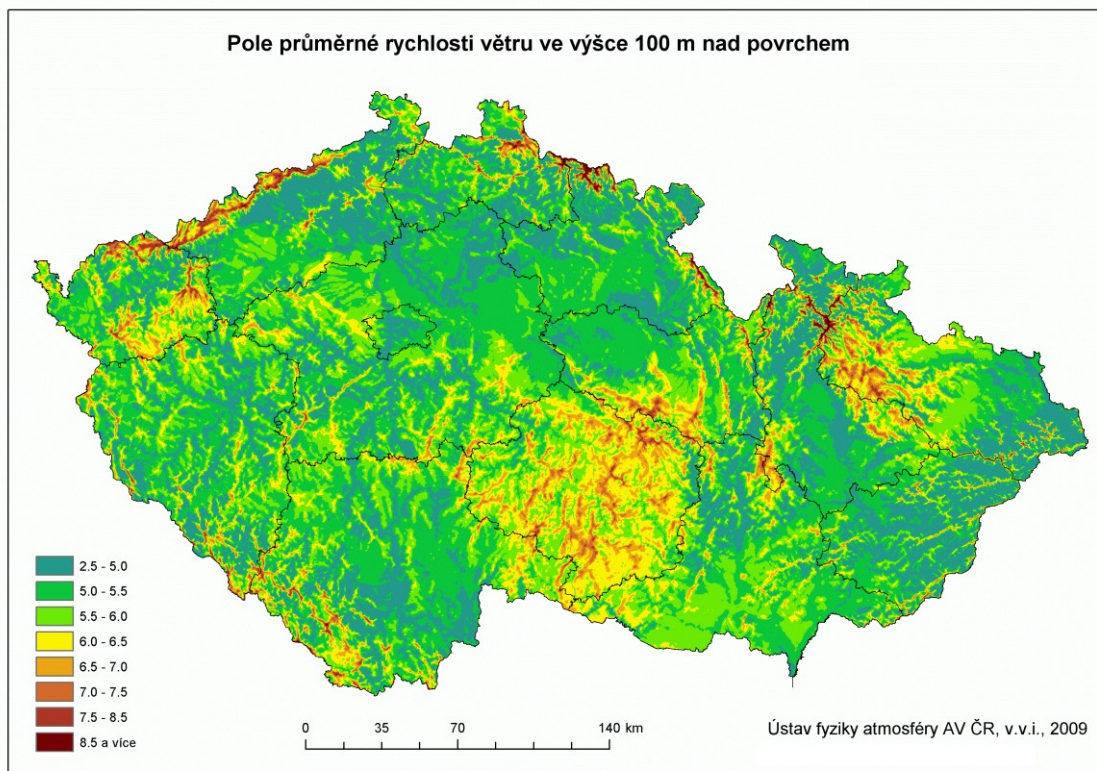
V České republice jsou příznivé větrné podmínky zejména v horských oblastech a na vrchovinách. Na obrázku 8 je mapa ČR, na které je zobrazeno pole průměrné rychlosti větru v m/s ve výšce 100 m nad povrchem.

Odhad využitelného potenciálu větrné energie v ČR je přibližně 2500 MW, byla vzata v úvahu i místa nevhodná k výstavbě, jako jsou chráněné krajinné oblasti, kulturní památky, místa s nedostatečnou kapacitou sítě a ochranná pásna různých technologií.

Na obrázku 9 je mapa České republiky s aktuálními větrnými elektrárnami. Největší hustota větrných elektráren je v:

- Ústecký kraj (46 VtE) vyrobeno 197,4 GWh
- Olomoucký kraj (42 VtE) vyrobeno 64,6 GWh
- Karlovarský kraj (32 VtE) vyrobeno 62,1 GWh

Celkový instalovaný výkon z VtE v ČR je 218,9 MW podíl 1,1 % z celkové výroby. Údaje o výrobě elektrické energie jsou k datu 31. 12. 2011. [\[8,9,10\]](#)



Obr. 8: Mapa rychlosti větru ČR [\[27\]](#)

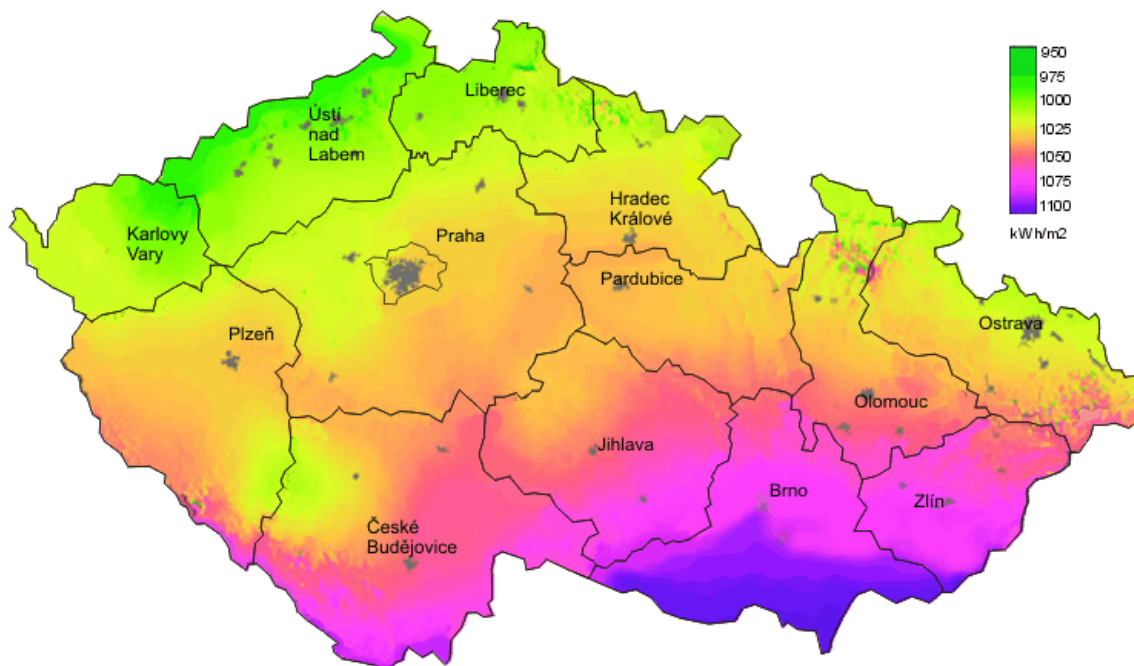


Obr. 9: Mapa výstavby VtE v ČR [\[28\]](#)

2.2 Vliv fotovoltaických elektráren na provoz elektrizační soustavy

Tento typ zdrojů energie je typický velmi rychlými změnami ve výrobě energie, která závisí nejen na denním období, ale také na oblačnosti. Výkyvy výkonu o desítky procent jsou v řádu desítek, někdy i jednotek minut. U fotovoltaických panelů, které jsou umístěny na rodinných domcích a jiných podobných budovách, které disponují výkonem v řádu kW, nebude vliv na síť nijak výrazný. Pokud se vyskytují ve větších počtech v jedné oblasti a jsou připojené na síť 0,4 kV napájenou z jednoho transformátoru 22/0,4 kV (např. na vesnici), tak problém nastává při plném slunečním svitu, kdy může docházet k přetoku energie na vyšší napěťovou hladinu. Pokud není dostatečný odběr od domácností ze sítě, mohly by to ochrany vn chybně vyhodnotit.

Fotovoltaické elektrárny s výkonem v řádech MW mají na elektrizační soustavu větší vliv. Vlivem rychlých změn výkonu může nastat kolísání napětí v místě připojení. Větší počet fotovoltaických elektráren v oblasti s výhodnými podmínkami (viz Obr. 10) pak bude vyžadovat výstavbu nových vedení, která nebudou po většinu času vytížená, v případě vyšších výkonů i posilování stávajících rozvodů (110/22 kV). Pravděpodobnost, že výkyvy výroby způsobené přechodnou oblačností budou celorepublikové a došlo by k velkému zvýšení nebo poklesu, je malá. [8]



Obr. 10: Mapa slunečního záření v ČR [29]

Celkový instalovaný výkon z fotovoltaických elektráren v ČR je 1 971 MW podíl 9,7 % z celkové výroby. Vyrobeno celkem 2 182 GWh elektrické energie. V porovnání s rokem 2004 je to více než 21 820 násobek větší výroba (v roce 2004 vyrobeno pouze 100 MWh). Údaje o výrobě elektrické energie jsou k datu 31. 12. 2011.

2.2.1 Spolehlivost dodávky elektrické energie z fotovoltaických elektráren

Na celkové výrobě elektřiny se FVE podílí v letních měsících (květen, červen), kdy jsou pro provoz optimální podmínky maximálně 4,5 % z celkové výroby. Průměrně po dobu šesti měsíců je celkový podíl výroby 1,4 %. Problém nastává z hlediska okamžité výroby, kdy je podíl výroby FVE a klasických zdrojů v jednotlivých měsících a denních hodinách výrazný. Například v letních měsících květnu a červnu dosahuje v poledních hodinách maximální spotřeba v elektrizační soustavě ČR asi 8000 MW v případě optimálního slunečního svitu, může celková výroba z FVE dosahovat téměř 20 % okamžité spotřeby a to zcela náhodně a bez možnosti regulace této výroby. Při současném uspořádání a provozu elektrizační soustavy jde proti výrobě z FVE a spotřebě elektrické energie, v době nejmenší spotřeby je největší výroba. Je to další rizikový faktor pro udržení stability elektrizační soustavy.

Elektrizační soustava a její regulace byla původně navržena na klasickou výrobu, přenos elektrické energie a její distribuci od zdrojů výroby ke spotřebičům. Pro udržení stability složitěho systému elektrizační soustavy je nutné sledovat a regulovat napětí. Distribuční síť se začala mohutně osazovat rozptýlenými a ve větší části nepredikovatelnými zdroji elektrické energie. Tyto zdroje mají nepochybně vliv na regulační systém napětí v soustavě. Jednou z možností regulace napětí v uzlech je regulace toků jalového výkonu, proto je nutné rozptýlené zdroje v soustavě doplnit o tuto regulaci. Novelou energetického zákona č. 211/2011 Sb. Platnou od 18. srpna 2011 je dáno, že veškerá regulace jalového a činného výkonu bude prováděna na základě dispečerského řízení provozovatelem distribuční soustavy. Tato novela vznikla při rozmachu instalací FVE a předepisuje pro větší rozptýlené zdroje povinnost zavést dispečerské řízení. [\[11\]](#)

Novela energetického zákona v ČI. II přechodná ustanovení uvádí v odstavcích:

14. Výrobce elektřiny je povinen vybavit výrobu elektřiny s instalovaným výkonem 2 MW a více uvedenou do provozu před nabytím účinnosti tohoto zákona zařízením umožňujícím dispečerské řízení do 30. června 2012.

15. Výrobce elektřiny je povinen vybavit výrobu elektřiny s instalovaným výkonem od 100 kW do 2 MW uvedenou do provozu před nabytím účinnosti tohoto zákona zařízením umožňujícím dispečerské řízení do 30. června 2013. [\[11\]](#)

2.2.2 Rizika při nesprávně navržené regulaci jalového výkonu

Hlavní rizika, která mohou nastat při těchto zapojeních

- Časté spínání tlumivek a velkých kondenzátorových baterií za transformátorem 22/6 kV, který bude mít malé činné zatížení, bude zdrojem přepětí a tím může poškodit vinutí transformátoru.
- V kombinaci indukčností transformátoru 22/6 kV a kondenzátorových baterií vznikne vzhledem k síti 22 kV laděný sériový rezonanční obvod s velice malým tlumením. Ten by mohl v náhodné konfiguraci rezonovat na některé harmonické napětí.
- Zatížení transformátoru velkým kapacitním výkonem může vést k jeho přesycení.

Tento problém by se dal vyřešit připojením regulátoru jalového výkonu do nízkonapěťové části jako individuální regulátor pro každý transformátor. Problém by nastal v budoucnu, pokud PDS změni požadavky na regulaci jalového výkonu a regulátory na to nebudou přizpůsobeny. Současné požadavky PDS na regulaci jalového výkonu požadují pouze regulaci účinníku.

Distribuční soustavu, je nutno v budoucnu přebudovat do tzv. Smart Grids (viz kapitola 4.1), která si sama poradí s rozptýlenou výrobou, akumulací a spotřebou elektrické energie. Vidina těchto sítí je prozatím vzdálená, ale bez dispečerského řízení jalového a činného výkonu u rozptýlených zdrojů elektřiny to nebude možné. [\[11\]](#)

3 Možnosti a potenciál akumulace vyráběné elektřiny z VtE a FVE

Nezastupitelnou složkou ve výrobě a spotřebě elektrické energie jsou akumulční systémy. V současné době je problematika akumulace z hlediska eliminace nesouvislé dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů a problémy spojené s časově proměnlivým výkonem těchto zdrojů. Pouze dvě technologie využívají pro uskladnění energie přímo elektrickou energii a to SMES a superkapacitory. Akumulátory ukládají energii v chemické formě a setrvačníky, PVE nebo CAES ve formě mechanické. Pro pokrytí každodenních energetických špiček jsou vhodné CAES a PVE.

V současné době je akumulace důležitá z důvodů

- Optimálního začlenění OZE do sítě
- Připravit se na tzv. chytré sítě (smart grid), které v budoucnu převezmou funkci dnešních sítí. [\[18,8\]](#)

3.1 Akumulační systémy vhodné pro energetiku

Akumulátory se v energetice využívají již dlouho. Používají se staniční baterie a zálohové baterie, převážně v jaderných elektrárnách, kde slouží jako záloha pro případ náhlého výpadku napětí. Slouží pro udržení chodu reaktoru v povolených mezích tím, že napájí ochrany. Většinou to jsou velkoobjemové akumulátory s velkou kapacitou, ale malým napětím.

V současné době stále vzrůstá instalovaný výkon z OZE, především FVE. Regulace tak velkého počtu nestabilních zdrojů je problematická, proto je otázka akumulace elektrické energie důležitá.

Jestliže kolísání výkonu neodpovídá aktuální spotřebě trhu s elektřinou je nutné zdroje odpojit nebo omezit jejich výkon. Tyto změny se následně projeví ve větším opotřebování strojů a zařízení. Všechny tyto aspekty se následně projevují do ekonomiky.

Využití baterií dělíme do dvou skupin:

Baterie pro primární potřeby

Je nutno nasadit prostředky s vynikající spolehlivostí i za cenu vyšší údržby. Jako příklad nasazení jsou jaderné elektrárny, které se stále spoléhají na olověné akumulátory. Další spolehlivé typy jsou hydroxidové baterie.

Baterie pro sekundární činnosti

Jsou to systémy, které nejsou náročné na obsluhu a jejich výpadek nezpůsobí výrazné škody. Řadíme zde všechny průtokové baterie, které jsou vhodné pro dlouhodobou akumulaci energie z OZE, popřípadě přímo v distribuční nebo přenosových sítích, kde mohou plnit funkci jakési kompenzace toků výkonů. Výhodou těchto baterií je malá údržba a rychlé přizpůsobování se situaci (rychlost reakce do 2 ms). Další používaný typ baterie je NaS (Sodium - Sulfur), které slouží právě v uzlech distribučních sítí. V budoucnu se počítá s nasazením NaS baterií na OZE. Lithiové baterie nejsou příliš vhodné pro využití v energetice. Jejich stále vysoká cena a relativně malá životnost je posouvá na místo malých baterií pro startování například záložních generátorů, nebo pro malé aplikace FVE. [8]

3.2 Akumulace pro fotovoltaické elektrárny

FVE mají zvýšené požadavky na akumulaci, protože náhodné změny výkonů jsou velké. Na systém akumulace je požadavek okamžité dodávky energie nebo okamžité krytí nadvýroby. S těmito požadavky není možné použít systém pracující ve velkých časových intervalech. Pro akumulaci s FVE jsou vhodné průtokové baterie typu REDOX, lithium-iontové, SMES nebo olověné baterie. [8]

3.2.1 Průtokové baterie

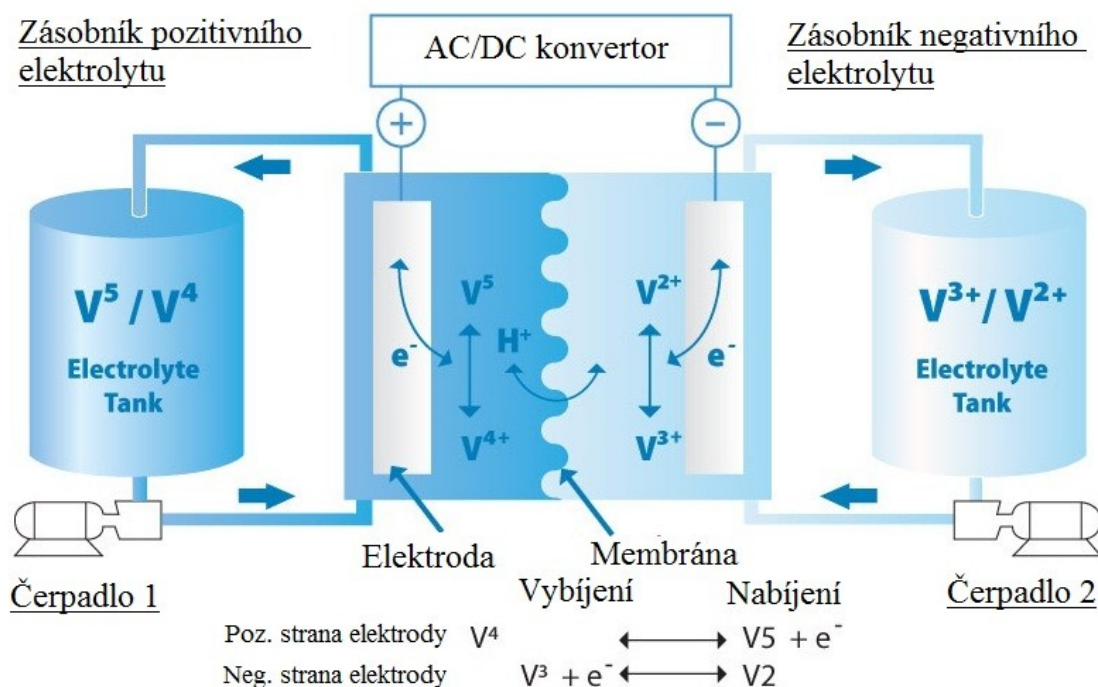
VRB-ESS (Vanadium Redox Battery – Energy Storage System)

Jsou to průtokové baterie schopné efektivně uskláňovat a následně dodávat velké množství elektrické energie. Základ systému tvoří redoxový (redukce a oxidace) regenerační článěk, který přemění chemickou energii na energii elektrickou. Ionické tvary vanadia spolu s ředěným kyselým prostředím představují základní složky elektrolytu. Elektrolyt je hlavní médium uskladněné chemické energie a čerpá se z oddělených nádrží do palivového článků přes membránu, kde jedna forma elektrolytu elektrochemicky oxiduje a druhá se elektrochemicky redukuje (viz Obr. 11). Takto se vytvoří elektrický proud, který se přes elektrody zavádí do vnějšího obvodu. Tato reakce může být obrácená, takže je možné nabíjení, vybíjení a znova nabíjení baterie.

Akumulační kapacita je dána množstvím elektrolytu v zásobnicích, je tedy možné zvýšit celkovou kapacitu zvýšením objemů nádrže (vyměnit nádrže) anebo přidat nádrže dodatečné. Výkon systému určuje počet bateriových článků. Přidáním dodatečných článků zvýšíme výkon baterie. Naopak odebráním článků výkon snížíme.

Elektrolyt zůstává plně nabitý s velice nízkým samovybíjením. Energetická hustota elektrolytu se pohybuje okolo 15 Wh / litr až 25 Wh / litr. Hustota výkonu je funkcí palivových článků a elektrolytu v případě velkých zařízení je 100 – 150 W/kg a při malých zařízení se hodnota pohybuje kolem 80 W/kg.

Účinnost VRB-ESS činí až 75 % ve velkých a až 65 % v menších zařízeních. Baterie má životnost více než 13 000 cyklů bez výměny membrány. Předpokládaná životnost baterie je více než 10 let a může být prodloužena výměnou opotřebovaných součástí (těsnosti ucpávek čerpadel, membránou apod.). Všechny ostatní provozní náklady a náklady na údržbu se omezují jen na pravidelné každoroční kontroly. Technologie VRB-ESS je šetrná k životnímu prostředí – nevznikají významné emise ovzduší, hluku a odpady. [13]



Obr. 111: Princip průtokové baterie [13]

Aplikace průtokových baterií ve světě

První projekt Yokohama Smart City vedená Japonským ministerstvem hospodářství, obchodu a průmyslu.

Sumitomo Electric Industries Ltd (Osaka, Japonsko) uvedla do provozu soustředěné fotovoltaické panely se skladováním energie systémem průtokových baterií redox s kapacitou 1 MWh x 5, 100 kW (viz Obr. 12). Sumitomo chce zdvojnásobit výkon a očekává, že do provozu přibude dalších 100 kW.

Systém řízení spotřeby energie sleduje úroveň elektrické energie soustředěných fotovoltaických panelů, jakož i skladování energie v bateriích a spotřebu elektrické energie spolu s naměřenými daty posílá do centrálního serveru. Systém vyrovnává kolísání napětí sluneční energie, nabíjení a vybíjení baterií, čímž se snižuje závislost na jiných zdrojích energie.

Společnost uvádí, že systém sleduje úroveň výkonu spotřeby s maximálním řízením odběru 1 MW.

Kontroluje elektrický výkon z baterie v závislosti na elektrickém zatížení a vyrovnáváním spotřeby.

Sumitomo dále plánuje spolupracovat s Meidensha Corporation a testovat systém, který bude kombinovat stávající výkon plynových motorů s redoxovými průtokovými bateriemi společně s koncentrovanými fotovoltaickými panely. [\[38,39\]](#)



Obr. 122: Systém redoxových baterií s fotovoltaickými panely [\[38\]](#)

3.2.2 Supravodivý magnetický systém akumulace energie (SMES)

Systém SMES ukládá energii do magnetického pole, které je produkováno elektrickým proudem tekoucím skrz supravodivou cívku. Odpor supravodivé cívky klesne k nule, až když klesne teplota pod kritickou hodnotu ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) pak cívka může vést velmi vysoké elektrické proudy bez elektrických ztrát. Jediné ztráty v systému SMES jsou spojeny s chladicím systémem, který je nezbytně nutný k udržení teploty pod kritickou hodnotou.

Dosažitelný výkon v systému SMES je omezen pouze výkonovou elektronikou. Energetická kapacita celého systému je nízká – několik kWh. Náběhový čas systému je funkcí výkonové elektroniky a je pod 4 ms. Použitelnost systému SMES je všude tam, kde je potřeba rychlé odezvy, vysokých výkonů a nízkých energií, převážně pro zlepšení kvality přenášeného výkonu. [\[18\]](#)

3.2.3 Olověné baterie

Olověný akumulátor se skládá z nádoby, ve které jsou umístěny dvě elektrody odlité s čistého olova. Vodný roztok kyseliny sírové o různých hustotách dle typu použité baterie. Kladné elektrody mají tvar mříží, které jsou naplněné pastou nebo jsou žebrované. Záporné elektrody jsou taktéž mřížkované a pastové. Jedna deska je vyplněna houbovým olovem a druhá oxidem olovičitým. Desky nejsou řazeny daleko od sebe a používá se více desek řazených střídavě, desky stejného druhu jsou spojeny.

Nabíjecí cykly jsou známy jako dvojité sulfatující reakce. Při vybíjení klesá koncentrace kyseliny sírové, neboť se tvoří voda. Při opětovném nabití její koncentrace stoupá. Hlavní nevýhodou těchto baterií je nízká hustota energie, dlouhá doba nabíjení a velká hmotnost. Olověné baterie se využívají jako trakční baterie nebo jako záložní systémy s jednotkovými výkony až 1,5 MW a s počtem cyklů až 2000.

Pb akumulátory jsou v současnosti nejrozšířenější, hlavně pro lokální akumulaci budou ještě dlouhou dobu nenahraditelné. Nejnovější typy jsou většinou bezúdržbové (není potřeba dolévat vodu) a mají ochranu proti vznikajícím plynům při přebíjení. Nicméně z dlouhodobého hlediska se jedná o neperspektivní technologii a pro účely regionální nebo celosystémové regulace je jejich využití nepravděpodobné. [\[8,16\]](#)

Taktéž baterie typu NiMH, NiZn, Li-Ion, Li-Pol, jsou využitelné pro místní (nn) nebo regionální (vn) regulaci. Budoucnost těchto baterií je spíše v elektromobilech.

3.3 Akumulace pro větrné elektrárny

Budeme-li brát v úvahu VtE velkých výkonů jako velké celky - větrné parky. Pro tyto celky jsou vhodné akumulární systémy CAES nebo AA-CAES, přečerpávací elektrárny (za předpokladu vhodných geofyzikálních podmínek) a můžeme zde zařadit i vodíkové hospodářství. Daná vhodnost systému závisí na ekonomické propozici. [8]

3.3.1 Akumulace energie prostřednictvím stlačeného vzduchu

Tato technologie se obecně označuje zkratkou (Compressed Air Energy Storage). Česky řečeno „Uchovávání energie ve stlačeném vzduchu“.

Princip CAES funguje podobně jako přečerpávací elektrárny, v době nízkého odběru elektrického proudu se přebytečná elektřina využívá ke stlačení vzduchu pomocí kompresorů do podzemních zásobníků. Ve špičce je z kompresorů turbína a motor pracuje v režimu generátoru, kde se stlačený vzduch využívá k pohánění turbíny (viz Obr. 13). Tímto způsobem se omezí výkyvy způsobené obtížně plánovatelnými zdroji elektrické energie z OZE.

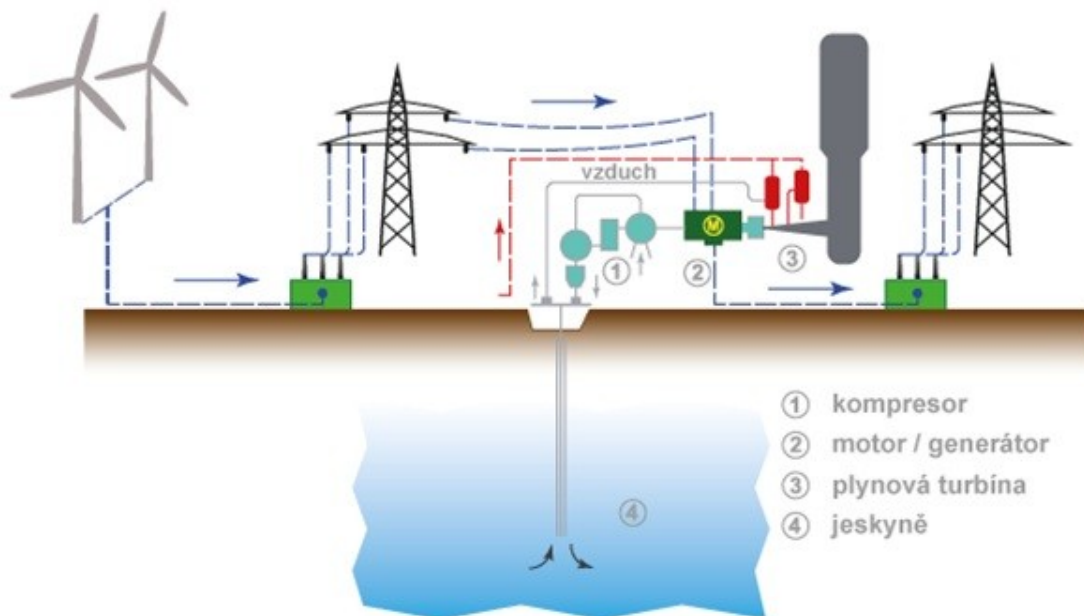
Vzduch se při stlačování zahřívá, a proto je nutné ho chladit. Ale při návratu na povrch je nutné vzduch znovu zahřát (toho se docílí prozatím pomocí zemního plynu). Účinnost tlakovzdušných akumulárních elektráren se pohybuje okolo 50 %. Tyto elektrárny mají menší výkon než přečerpávací elektrárny, ale je k dispozici více vhodných lokalit (vytěžené prostory, jeskyně, artéské studně apod.)

Zvýšení účinnosti lze dosáhnout vylepšenou variantou AA-CAES (Adiabatic Advanced - Compressed Air Energy Storage).

V tomto vylepšeném systému nepřichází teplo vytvořené stlačením vzduchu vniveč, ale skladuje se pro opětovné zahřátí stlačeného vzduchu. Tím stoupne účinnost celého procesu na 70 %, což už je srovnatelné s přečerpávacími elektrárnami. [14]

Výhodné může být využití tlakové energie vzduchu pro elektrárny s plynovými turbínami, které se často používají jako špičkové zdroje elektřiny. Plynová turbína potřebuje pro svůj provoz přívod stlačeného vzduchu do spalovací komory. Toho se docílí pomocí kompresorů, které ale spotřebují skoro 2/3 výkonu turbíny. Využití již stlačeného vzduchu akumulovaného s OZE by se docílilo vyššího výkonu (odpadla by potřeba kompresorů). Ve vhodných lokalitách, by se mohly tímto způsobem využívat, již stávající plynové elektrárny a tím ušetřit náklady.

Oba tyto systémy jsou příležitostí pro expanzi OZE, ale je nutné provést v ČR geologické průzkumy lokalit s vhodnými hlubinnými prostory.



Obr. 13: Schematické znázornění systémů CAES [30]

3.3.2 Chemická akumulace - vodík

3.3.2.1 Výroba vodíku

Nejvhodnější výroba vodíku z OZE je pomocí elektrolýzy nebo vysokoteplotní elektrolýzy. Vyrobený vodík se musí vhodně uskladnit a následně využít k zpětné výrobě elektrické energie a to principiálně dvěma způsoby. Chemická energie, která je ve vodíku uchovávána, je možno uvolnit buďto spaláním ve spalovacím motoru, případně turbíně, nebo přeměnit jej přímo na elektrickou energii v palivových článcích.

Elektrolýza vody

Elektrolýza je proces, kdy vlivem stejnosměrného elektrického proudu na elektrody elektrolyzátoru, dochází k pohybu kladných iontů k záporné elektrodě a záporných iontů ke kladné elektrodě. Na katodě poté dochází k vývoji vodíků a na anodě ke kyslíku. Účinnost procesu se pohybuje v rozmezí přibližně 70 - 80 %. Kromě elektrolyzátoru jsou však nutné i další systémy, které jsou nezbytné při výrobě vodíku touto metodou. Jedná se zejména o střídače, usměrňovače, čističky vody a různá čerpadla. Výsledná účinnost jako celku se může pohybovat okolo 30 %. Výhody elektrolýzy jsou možnosti použití různých typů zdrojů vstupní energie a vysoká čistota vodíků. Jako hlavní nevýhoda je vysoká cena elektrické energie, ale při nadbytku elektrické energie z OZE, můžeme tuto nevýhodu zanedbat.

Vysokoteplotní elektrolýza

U vysokoteplotní elektrolýzy je dodávána společně s elektrickou energií také energie tepelná. Do elektrolýzérů vstupuje směs páry a vodíku (90 % páry, 10 % vodíku). Vodík udržuje reduktivní prostředí na katodě a je nezbytný pro správnou funkci elektrolýzy. Iont kyslíku prochází membránou a po oxidaci na anodě je odváděn ze systému. Výstupní směs pak obsahuje 90 % vodíku a 10 % páry. Voda se odděluje v kondenzační jednotce a část vodíku se vrací zpět do systému. Provozní podmínky procesu vyžadují teploty v rozmezí 600 – 1000 °C. Výhodou této metody je zvýšená účinnost procesu díky snížené spotřebě elektrické energie. Nevýhodou je nutnost ohřevu páry, avšak celková účinnost vysokoteplotní elektrolýzy může dosahovat až 45 %. [\[17,8\]](#)

3.3.2.2 Skladování vodík

Vodík lze skladovat v plynném a kapalném skupenství, existují metody, při kterých lze navázat vodík na pevnou látku, čili lze vodík skladovat i v pevném skupenství. Na skladovací systémy vodíku jsou kladeny zvýšené konstrukční a bezpečnostní požadavky. Vodík spolu se vzduchem tvoří velice výbušnou a hořlavou směs. Vodík se vyznačuje velmi malým rozměrem své molekuly (může proniknout i pevným materiálem) je bez zápachu a rychlou expanzí může dojít k jeho samovznícení. Nejčastěji se vodík skladuje v plynném skupenství, které je v procesu méně energetický náročnější než u kapalného skupenství.

3.3.2.3 Energetické využití vodíku

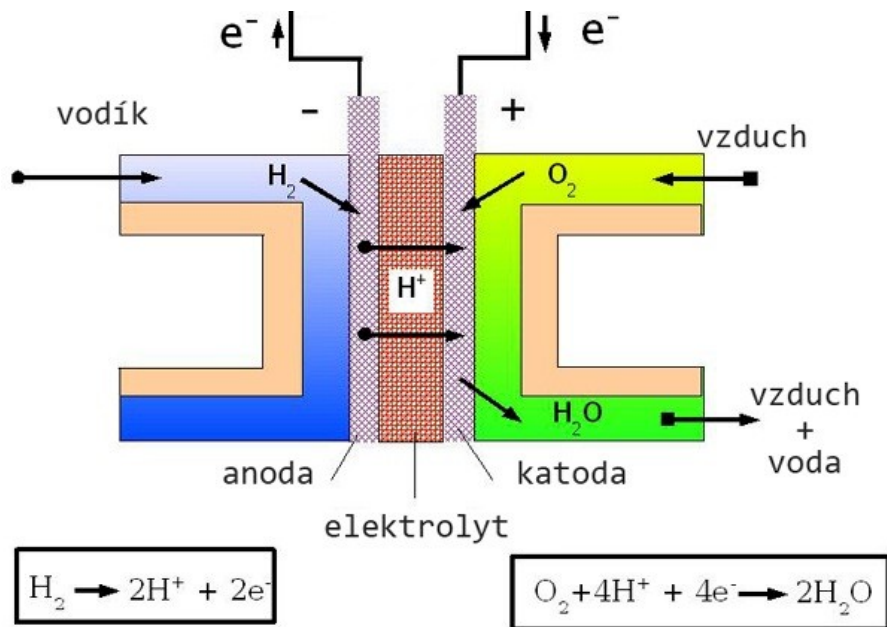
Vodíkové spalovací motory

Vodík hoří velice rychle řetězovou rozvětvenou reakční kinetikou. V důsledku jeho vysoké výhřevnosti je plamen stabilní i při velmi chudé směsi. Využití spalovacích motorů v energetice jako zpětné využití naakumulované energie je málo účinné a nevýhodné. Uskladněný vodík lze využít na pohon vodíkových automobilů nebo v jiných odvětvích pro upotřebení samotného vodíku.

Palivové články

Palivové články jsou elektrochemické zdroje energie. Při elektrochemických procesech dochází k přímé přeměně chemické energie paliva na elektrickou energii, respektive stejnosměrný elektrický proud (viz Obr. 14). Oproti tepelným strojům s generátorem elektrické energie dosahují palivové články vysoké účinnosti až na 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost dosahuje až 35 – 50 % dle zařízení a zvoleného typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána tím, že přeměna na elektrickou energii je přímá, nikoliv přes mezistupně jak je tomu u spalovacích motorů. Palivové články se liší podle svých specifických provozních

parametrů např. konstrukce článků, elektrochemického děje, podle použitého elektrolytu, způsobu provozování, podle tlaku, výkonu, provozní teploty nebo použitého paliva. Zásadně dělíme články na nízkoteplotní a vysokoteplotní.



Obr. 14: Schéma palivového článku na vodík [31]

Vodík jako nosič energie je alternativou k fosilním palivům. Oblasti jeho využití jsou v automobilovém průmyslu v lokální produkci elektrické energie, tepla nebo jako možnost uskladnění elektrické energie z OZE.

3.3.2.4 Pilotní projekt Utsira

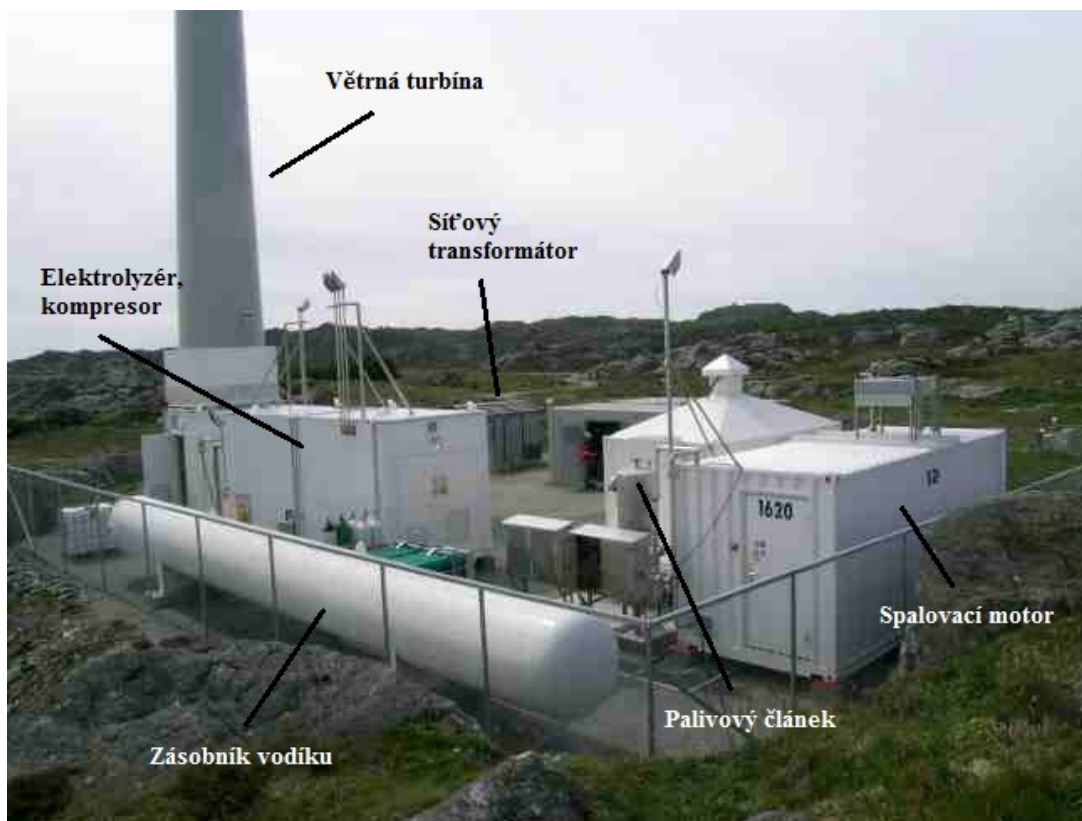
Projekt UTSIRA (UTility System In Remote Areas)

Účelem projektu je ukázat jak z OZE efektivně dodávat energii do odlehlých oblastí. Cílem projektu je demonstrace hybridního systému komplexů VtE se zařízením vodíkové technologie na ostrově Utsira v Norsku 20 km západně od Haugesundu. Ostrov má 6,2 Km² s 235 obyvateli a spotřebou 3,5 GWh / rok. Jejich ambice je dosáhnout soběstačnosti elektrické energie s OZE. Projekt je plně funkční od roku 2006.

Hlavní komponenty ostrova (viz obr. 15)

- Větrná turbína 2 x 600 kW
- Vodíkový motor 55 kW
- Palivový článek 10 kW
- Elektrolýzér 48 kW (produkce vodíku 10 m³/h)
- Kompresor 5,5 kW

- Zásobník stlačeného vodíku 2400 Nm³, 200 bar [\[35\]](#)



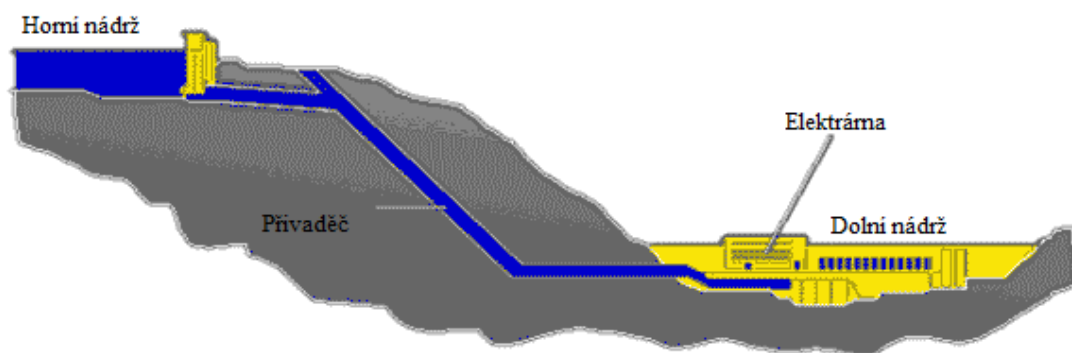
Obr. 15: Utsira systém VtE – vodík [\[35\]](#)

3.3.3 přečerpávací elektrárny

Pro výstavbu PVE, musí být vhodné, geograficky příznivé podmínky. Musí se vystavit dvě nádrže, jejichž spádový stav musí být co největší. Když potřebujeme elektrickou energii, přitéká s horní nádrže tlakovým potrubím voda k turbíně, která pohání generátor. Potom voda odtéká do spodní nádrže. Při nadbytku elektrické energie přechází elektrárna do reverzního (čerpacího) režimu. Generátor pak pracuje jako elektromotor, který využívá nadbytečnou elektrickou energii ze sítě a pohání turbínu, která čerpá vodu do horní nádrže (viz Obr. 16). Přečerpávací elektrárny dosahují účinnosti 70-80%.

V ČR je největší PVE Dlouhé Stráně. Elektrárna má spád 510,7 m, technologický proces zajišťují dvě reverzní turbosoustrojí, každé o výkonu 325 MW.

Teoretický potenciál v ČR je 13 PVE o celkovém instalovaném výkonu až 10 000 MW. Z důvodu ekonomických nebo ekologických lze uvažovat pouze o zprovoznění jedné PVE o přibližném výkonu 1 000 MW, nejdříve však v roce 2025. [\[3,15,16\]](#)



Obr. 16: Přečerpávací vodní elektrárna [\[4\]](#)

4 Zapojení obnovitelných zdrojů a akumulací energie do „Smart Grids“

4.1 Smart Grid – inteligentní elektrické sítě

Hlavním úkolem Smart Grid je nasazení inteligentních prvků pro efektivní řízení jednotlivých technologických zařízení DS. Mezi tyto zařízení patří distribuční trafostanice, jističe a odpínače, akumulační zařízení (viz kapitola 3), inteligentní elektroměry atd.

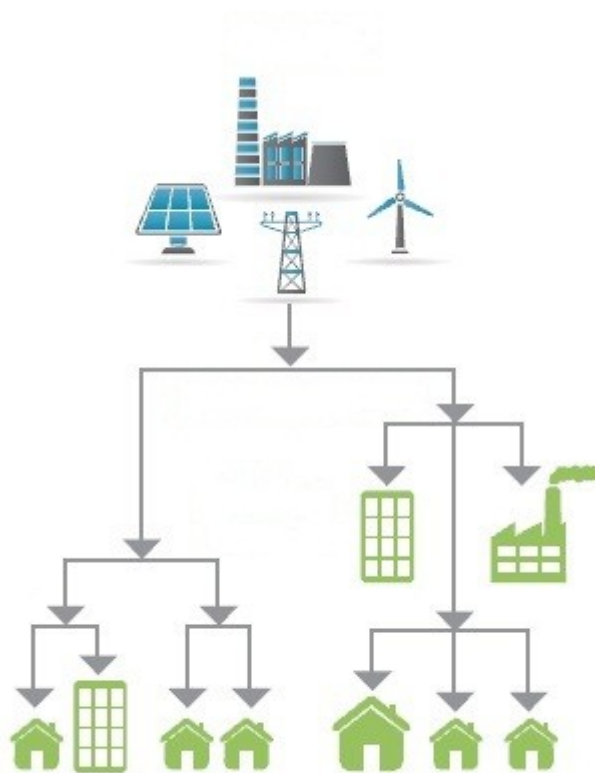
Cílem konceptu Smart Grid je optimalizace provozu DS, řízení spotřeby až do úrovně individuálních spotřebitelů a optimalizovat využití lokálních zdrojů a následně jejich využití při řízení ucelených oblastí distribuční sítě. Dále umožnění ostrovního provozu a jejího řízení, snížení počtu výpadků a minimalizace dopadu výpadků automatickým zásahem v konfiguraci sítě. Zvýšení provozní efektivity a odolnosti energetického systému, poskytnutí odběrateli detailnější informace o využití elektrické energie, rozložení špičkového zatížení sítě, snížení vlivu nepredikovatelných zdrojů (viz kapitola 1) na stabilitu sítě.

4.2 Porovnání Smart Grid s klasickou distribuční sítí

4.2.1 Klasická distribuční síť

Topologie toku elektrické energie je navržena tak, aby vyhovovala jednosměrnému toku. Proces začíná u elektrárny, pokračuje přes přenosovou soustavu (v ČR 400, 220, 110 kV), následně přes distribuční soustavu (nejčastěji 35, 22, 10, 0,4 kV) do místa spotřeby (viz Obr. 17). Hlavními zdroji energie jsou velké elektrárny v desítkách připojené do sítě vvn a následně transformována na nižší napěťové hladiny. Díky vzrůstajícímu počtu malých zdrojů připojených do sítí vn a nn vyplývají následující nedostatky.

- Ztráty při transformaci z hladiny nn na vn, nebo naopak na úkor zisku distributora.
- Nemožnost efektivně řídit zdroje v době normálního zapojení nebo v havarijním čase.
- Nižší kvalita dodávky elektrické energie pro koncové spotřebitele, vlivy vyšších harmonických (není čistý sinusový průběh). [\[19\]](#)



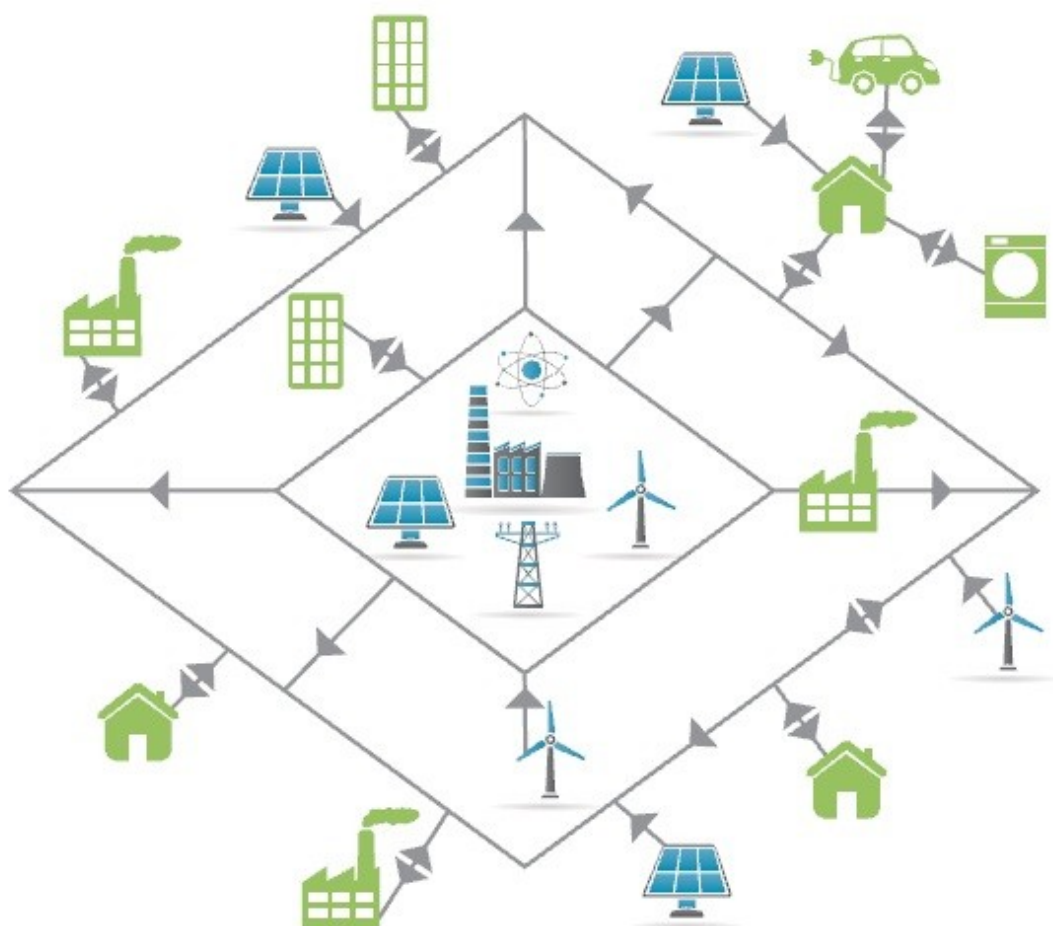
Obr. 17: Model klasické distribuční sítě [33]

4.2.2 Smart Grid sítě

Oproti klasickým sítím jsou sítě typu Smart Grids přizpůsobené na obousměrný tok energie. Smart Grid sítě jsou samočinně se regulující elektrické sítě, schopné přenášet vyrobenou energii z jakéhokoli zdroje centralizované i decentralizované výroby elektrické energie až ke koncovému uživateli (viz Obr. 18). Jsou požadavky na vysokou úroveň automatizace bez obslužnosti řídicích procesů a systémů navázané na systém centrálního řízení. Při výpadku spojení mezi regionem a centrálním systémem nutnost dočasného autonomního provozu. Jsou kladeny důrazy na vysokou bezpečnost řešení. Jednotlivé Smart Grid regiony vznikají samostatně s výraznými rozdíly velikosti regionu, množství zdrojů, hustotě osídlení a s rozdíly ve spotřebě a v bilanci z důvodů velkých investic do infrastruktury a vysoké pracovní síly.

Je nutno nasazení inteligentních prvků pro lokální systémy řídicí DS, které s využitím informací z těchto prvků a jejich ovládaní budou schopny řídit chod DS za účelem optimalizace procesů lokální výroby, akumulace a spotřeby v regionu. Lokální řídicí systémy musí být schopny autonomního provozu, spolu se zajištěním funkcí řízení regionu v ostrovním režimu provozu a startu ze tmy. Na centrální řídicí systém musí být integrován i lokální řídicí systém, aby umožnil řídit region pod jeho dohledem. Všechna naměřená data inteligentními elektroměry,

aktivními prvky a sondami musí být poskytnuta ke zpracování centrálnímu systému energetické společnosti. Díky datům je společnosti umožněno odhadnout spotřeby a chody DS nebo analýza a pokročilé funkce tarifkace odběratelů. [19]



Obr. 18: Model Smart Grid [33]

4.3 Výhody a nevýhody sítě Smart Grids

Výhody

- Zapojení alternativních zdrojů energie a efektivně je kombinovat se současnými zdroji.
- Předcházení přetížení DS a přesměrování toku energie. Snížení přetížení a výpadků sítě.
- Sledování technického stavu DS, předcházení a řešení poruch a výpadků.
- Chytré sítě komunikují se zákazníkem v reálném čase. Optimalizace spotřeby zákazníka s ohledem na cenu a životní prostředí.

Nevýhody

- Vysoké investiční náklady, nutno vybudovat akumulační technologie (viz kapitola 3) a vyměnění stávajících elektroměrů za chytré elektroměry (Smart Meters). Vysoké celkové náklady na vybudování sítě.
- Vysoké nároky na bezpečnost (kybernetické útoky) a spolupráci jednotlivých smart regionů s centrálním řídicím systémem.

4.4 Možnosti využití akumulačních technologií v ČR

Nutnost zavádění akumulace souvisí většinou s dodávkou z částí i spotřebou elektřiny, která se odvíjí od denní periodicity přírodních jevů (slunce, vítr). Akumulace musí mít zejména denní charakter. Pro zapojení potřebného regulačního výkonu v akumulaci do ES v České republice je možné buď na systémové, regionální nebo lokální úrovni.

Systémová centrální akumulace

Vhodné technologie pro systémovou centrální akumulaci na úrovni PS jsou PVE a CAES.

Regionální akumulace

Probíhá na úrovni předávacích míst PS/110 kV. V ES ČR je přibližně 30 míst vhodných pro umístění akumulace o velikosti 30-50 MW. Potencionálně mohou dodat až 1 000 MW regulačního výkonu bez velkých dodatečných investic do síťové infrastruktury. Technologie vhodné pro regionální akumulaci jsou Redox, NaS, superkapacity, setrvačníky, SMES.

Lokální akumulace

Akumulace může probíhat v místě připojení OZE do sítě nn. Akumulační velikost lze uvažovat zhruba na 50 % instalovaného výkonu ve VtE a FVE. Technologie vhodné pro lokální akumulaci jsou alkalické akumulátory, Redox, NaS, Pb akumulátory, elektromobily. [\[16\]](#)

4.5 Smart Grids ve světě

4.5.1 Rozvoj Smart Grids v Evropské unii

Podmětem pro energetiku v Evropském měřítku je SET Plan (Strategic Energy Technology Plan). Cílem tohoto projektu je do roku 2020 splnit závazek EU, snížení emisí a skleníkových plynů o 20 % oproti úrovni z roku 1990 dále zvýšit podíl OZE v celém energetickém mixu EU na 20 % a zvýšit energetickou účinnost v Evropě o 20 %.

V rámci SET Plan začala v roce 2010 činnost Evropské iniciativy pro chytré sítě (EEGI). EEGI se zaměřuje na podporu vědy a výzkumu, rozvoji demonstračních projektů velkého měřítka po celé Evropě, cílem je vyzkoušet jednotlivé funkční celky a koncepty Smart Grids.

Vize Smart Grid v evropském pojetí je distribuční systém postavený na těchto předpokladech:

- Zákazník je v centru systému
- Trh je hybatelem dění
- Systém je spolehlivý, udržitelný, flexibilní a interaktivní
- Operátoři sítí hrají hlavní roli v rozvoji systému

Vize EEGI lze shrnout do následujících bodů:

Aktivní integrace nových výrobních zdrojů a spotřebních modelů:

- Integrace nových rozmístěných zdrojů na různých napěťových hladinách
- Nové služby DS, především infrastruktury dobíjecích stanic a elektrického vytápění (tepelná čerpadla)
- Nové podnikatelské příležitosti a inovace
- Podpora a růst energetické účinnosti na straně odběratelů.

Plánování a provozování elektrických sítí jako jednoho celku:

- Koordinace plánování a provozování přenosových sítí jako evropského celku
- Koordinace plánování a provozování mezi DS a PS s řešením v rámci EEGI.

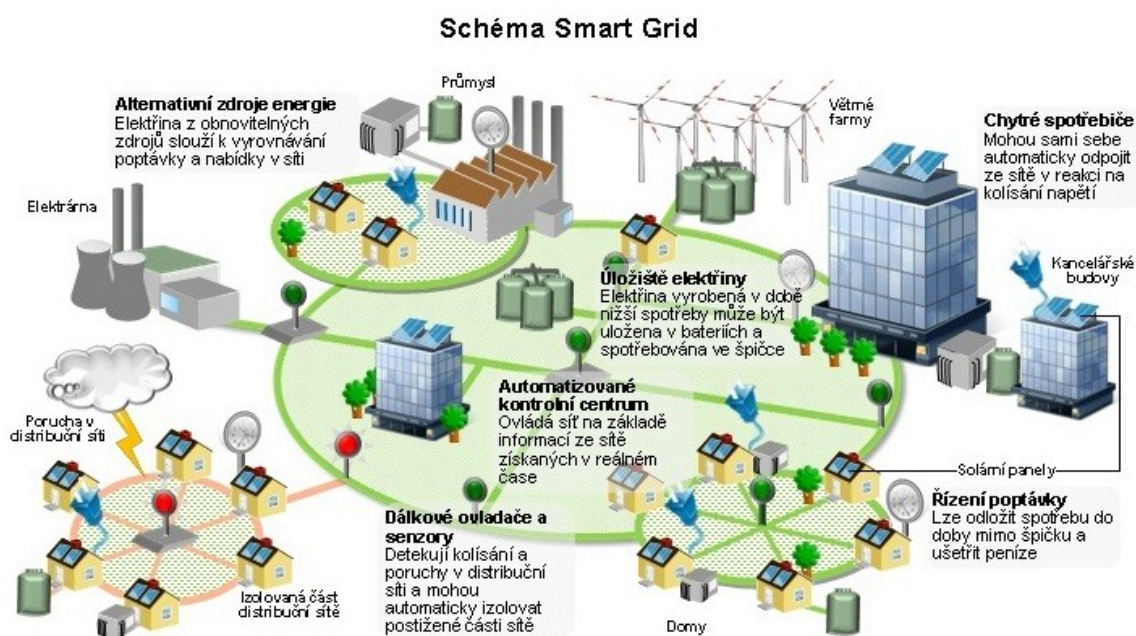
Legislativa Evropské unie směřuje k tomu, aby v roce 2020 chytrými měřidly disponovalo na 80 % odběratelů. [\[20\]](#)

4.5.2 Pilotní projekt Smart Grid v České republice - Vrchlabí

Skupina ČEZ v rámci projektu Smart Region nasadila nejmodernější technologie do DS v mikroregionu Vrchlabí. V období let 2010 – 2015 bude zavádět testovací prvky Smart Grids, zapojovat stávající OZE a vybuduje několik jednotek kombinované výroby elektřiny a tepla. Bude testovat nasazení inteligentních elektroměrů a prvků včetně interaktivního zapojení zákazníků, zapojovat lokální výrobní zdroje (kogenerační jednotky) a využívat IT technologií k řízení sítě.

V budoucnu bude další realizace probíhat na základě posouzení přínosů nasazení pro dané lokality. Smart Grids se budou realizovat jako nástavba k probíhajícímu programu obnovy distribučních sítí. Schéma Smart Grid sítě je zobrazeno na obrázku 19.

Pilotní projekty inteligentního měření (nasazení inteligentních elektroměrů) probíhají také v Pardubicích a Jeřmanicích.



Obr. 19: Schéma Smart Grid sítě [32]

4.5.3 Pilotní projekty v zahraničí

Velká Británie

Do roku 2020 plánuje osadit chytrými měřidly všech cca 26 milionů domácností, které jsou základem pro rozvoj Smart Grids.

Francie

Francouzská distribuční společnost ERDF spustila v roce 2010 pilotní projekty Smart Grids ve dvou regionech (300 tisíc domácností). Na základě poznatků z testování proběhne instalace Smart Meters v 35 milionech francouzských domácností.

USA

Spojené státy podporují instalaci chytrých měřidel, zatím tvoří jen 5 % ze všech instalovaných. Na úrovni jednotlivých států jsou v realizaci Smart Grids nejdále státy Kalifornie a Colorado (město Boulder je již prvním „smart“ městem USA).

Německá spolková republika

V roce 2009 spustilo pilotní projekt výstavby chytré sítě v průmyslovém regionu Karlsruhe-Stuttgart na jihu Německa. V projektu je zapojeno na 1 000 odběratelů z řad domácností, průmyslových objektů, výrobních a skladovacích jednotek.

V německém Mannheimu se realizuje pilotní projekt Smart Grids pod názvem Model City Mannheim (MoMa). Cílem tohoto projektu, je zvýšit energetickou účinnost vytvořením virtuálního tržiště energie pro producenty energie, spotřebitelů a provozovatelů sítí. Nové energetické služby mohou nabídnout spotřebitelům možnost úspor energie, využití energie efektivněji a tím přispět k ochraně životního prostředí. Dále budou zkoumány nové obchodní modely s energií a způsoby dosažení stabilní kontroly nad sítí. Kladné výsledky projektu budou aplikovány v dalších městech. [\[20,21,37\]](#)

Závěr

V první kapitole jsem se zabýval zdroji s obtížně plánovatelnou výrobou elektrické energie. Popsal jsem druhy a možnosti využití větrných a solárních elektráren. Zmínil jsem se o aktuálním využívání těchto zdrojů v České republice a možnostmi výstavby do budoucna. V další kapitole popisuji problematiku těchto zdrojů na českou elektrizační soustavu, kde jsem rozebral problémy nežádoucích vlivů a jejich případnou eliminaci.

V třetí kapitole popisuji akumulční systémy a jejich možnou akumulaci pro OZE. Každý akumulční systém je vhodný pro jinou aplikaci, systémy AA-CAES a PVE jsou vhodné jako dlouhodobé a velkokapacitní akumulční jednotky. Pro aplikace, které potřebují rychlou odezvu (akumulace a opětovné dodání elektrické energie do sítě) jsou vhodné systémy průtokových baterií, SMES a baterie (olověné, lithium-iontové apod.).

Je nutné provést geologické průzkumy pro využití velkých akumulčních systémů, jako jsou CAES a PVE. V případě systému CAES musíme brát v úvahu možnost využití již stávajících plynových elektráren, kde by se naakumulovaný stlačený vzduch mohl využít pro značné zlepšení účinnosti spalovacích turbín (odpadne potřeba kompresorů).

V případě vodíkového akumulčního systému se musí brát na vědomí možnost distribuce vodíku jako výrobního produktu (hybridní automobily, laboratoře, potravinářství, svařování apod.).

Ve čtvrté kapitole jsem se zabýval problematikou chytrých sítí (Smart Grids) a jejich rozdílem oproti stávajícím soustavám. Popsal jsem již realizované pilotní projekty a jejich záměry do budoucna. Možnosti připojení OZE a akumulčních systémů do Smart Grids a požadavky na jejich řízení.

Pokud počítáme do budoucna s nasazením OZE pro větší část výroby elektrické energie v ČR, tak bez vybudování akumulčních jednotek a přebudování stávající soustavy na chytré sítě to nebude možné. V budoucnu po realizaci chytrých sítí se naskytne nové možnosti pro pracovní místa, podnikání a hlavně šetření elektrické energie a tím i životního prostředí. Zákazník bude v centru dění a může dálkově ovlivňovat svoji spotřebu domácností a tím být smart.

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1: Popis větrné elektrárny [22]</i> | 3 |
| <i>Obr. 2: Výkony větrných elektráren [23]</i> | 4 |
| <i>Obr. 3: Vývoj výroby z VtE [10]</i> | 6 |
| <i>Obr. 4: Roční výroba energie v závislosti na rozměrech VtE. [6]</i> | 6 |
| <i>Obr. 5: Parabolická žlabová elektrárna. [24]</i> | 8 |
| <i>Obr. 6: Solární věžová elektrárna. [25]</i> | 8 |
| <i>Obr. 7: Výroba z VtE v jednotlivých letech [26]</i> | 14 |
| <i>Obr. 8: Mapa rychlosti větru ČR [27]</i> | 15 |
| <i>Obr. 9: Mapa výstavby VtE v ČR [28]</i> | 15 |
| <i>Obr. 10: Mapa slunečního záření v ČR [29]</i> | 16 |
| <i>Obr. 11: Princip průtokové baterie [13]</i> | 21 |
| <i>Obr. 12: Systém redoxových baterií s fotovoltaickými panely [38]</i> | 22 |
| <i>Obr. 13: Schematické znázornění systému CAES [30]</i> | 25 |
| <i>Obr. 14: Schéma palivového článku na vodík [31]</i> | 27 |
| <i>Obr. 15: Utsira systém VtE – vodík [35]</i> | 28 |
| <i>Obr. 16: Přečerpávací vodní elektrárna [4]</i> | 29 |
| <i>Obr. 17: Model klasické distribuční sítě [33]</i> | 31 |
| <i>Obr. 18: Model Smart Grid [33]</i> | 32 |
| <i>Obr. 19: Schéma Smart Grid sítě [32]</i> | 35 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| <i>Tab. 1: Vývoj výroby z FVE [10]</i> | 10 |
| <i>Tab. 2: Instalovaný výkon a výroba VtE v ČR [26]</i> | 13 |

Seznam použité literatury

- [1] - Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelné-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vestrna-elektrarna.html>>.
- [2] - Dostupné z WWW: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_22_sun.html>.
- [3] - Volker Quaschnig, překlad Ing. Václav Bartoš.: *Obnovitelné zdroje energií*, Grada Publishing, a.s. První vydání, Praha 2010.
- [4] - Dostupné z WWW: <<http://www.kea-olomouc.cz/index.php?ca=zdroje&ar=05>>.
- [5] - Obnovitelné zdroje energie, FCC PUBLIC 1994.
- [6] - Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/clanky/velikost-vestrne-elektřarny-a-její-vývoj/110>>.
- [7] - Fotovoltaika, Elektrická energie ze slunce, EkoWATT 2009.
- [8] - Petr Mastný, Jiří Drápela, Stanislav Mišák, Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošík, Tomáš Pavelka. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. České vysoké učení technické v Praze. Vydání první Praha 2011.
- [9] - Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>>.
- [10] - Dostupné z WWW: <www.eru.cz>.
- [11] - Dostupné z WWW: <www.elcom.cz>, Odborný článek firmy ELCOM, a.s. - Ing. Vladimír Korenc, Dr. Ing. Tomáš Bůbela.
- [12] - Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/4279>>, problematika-pripojovani-vestrnych-elektřaren-do-distribucni-site.
- [13] - Dostupné z WWW: <<http://www.nixin.cz/technologie/charakteristika-VRB-ESS>>.
- [14] - Dostupné z WWW: <http://technet.idnes.cz/cez-zkouma-skladovani-elektřiny-pod-zemi-podivejte-se-jak-to-funguje-ljd-tec_tecnika.aspx?c=A091022_140139_tec_tecnika_rja>.
- [15] - Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelné-zdroje/voda/dlouhe-strane.html#!&zoom=15>>.
- [16] - Petr Čambala, Michal Macenauer, Tomáš Mendl, Tomáš Špaček, *Modelování provozu OZE v rámci ES ČR*. EGÚ Brno, a.s.
- [17] - Aleš Doucek, Daniel Tenkrát, Petr Dlouhý, *Vodíkové hospodářství a možnosti využití vodíku k regulaci obnovitelných zdrojů energie*. Ústav jaderného výzkumu Řež a.s., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [18] - Petr Bača, *Možnosti akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů*. Práce vznikla v rámci řešení operačního programu EU CVVOZE.
- [19] - Josef Horálek, Vladimír Soběslav, *Technologie a požadavky na inteligentní sítě pro Smart Grid*, Fakulta informatiky a managementu, Univerzita Hradec Králové.
- [20] - Bc. Martin Machek. Dis., *Pozadí rozvoje Smart Grids v Evropské unii*, All for power 2011, 5., 3/2011, strana 126-128.
- [21] - Dostupné z WWW: <<http://www.futuremotion.cz/edee/content/file-other/future-motion/brozura-smartgrids.pdf>>.
- [22] - Dostupné z WWW: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/04_pr.pps>.

- [23] - Dostupné z WWW: <<http://www.eurosolar.cz/phprs/data/texty/images/vitr-vyvoj-technologie.gif>>.
- [24] - Dostupné z WWW:
<<http://www.abb.com/cawp/seitp202/1cd713ef8cad0387c12575ee002d1358.aspx>>.
- [25] - Dostupné z WWW: <<http://nejedly.blog.idnes.cz/c/148194/Prvni-solarni-vez-v-Nemecku.html>>.
- [26] - Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/clanky/statistika/281>>.
- [27] - Dostupné z WWW: <<http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrna-mapa.html>>.
- [28] - Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/aktualni-instalace>>.
- [29] - Dostupné z WWW: <<http://www.sez-zlin.cz/obr/slunecni-svit.htm>>.
- [30] - Dostupné z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>>.
- [31] - Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektřiny-z-fotovoltaických-a-vetrných-elektřin.aspx>>.
- [32] - Dostupné z WWW:
<<http://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost2011/cs/environment/iniciativa-future-motion.html>>.
- [33] - Dostupné z WWW: <http://www.ness.com/cs-CZ/Industries/utilities/grid4life/smart_grid/Documents/S_Grid_cz.pdf>.
- [34] - Dostupné z WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#fv_cr>.
- [35] - Dostupné z WWW: <http://www.iphe.net/docs/Meetings/Brazil_3-05/Norway_Utsira_Wind_H2.pdf>.
- [36] - Dostupné z WWW: <http://www.listisbig.com/Vanadium_batteries.html#Applications>.
- [37] - Dostupné z WWW: <http://www.modellstadt-mannheim.de/moma/web/en/projekt/modellstadt-mannheim/modellstadt-mannheim_1.html>.
- [38] - Dostupné z WWW: <<http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-news/current/2012/kw30/sumitomo-commissions-combined-cpv-energy-storage-system-at-yokohama-factory.html>>.
- [39] - Dostupné z WWW: <<http://news.pv-insider.com/concentrated-pv/cpv-intelligence-brief-18-%E2%80%93-31-july-2012>>.